



TITLE:

廃棄物の流動を指標とした環境計画に関する基礎的研究(
Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

盛岡, 通

CITATION:

盛岡, 通. 廃棄物の流動を指標とした環境計画に関する基礎的研究. 京都大学, 1975, 工学博士

ISSUE DATE:

1975-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k1564>

RIGHT:

廃棄物の流動を指標とした環境計画
に関する基礎的研究

盛 岡 通

廃棄物の流動を指標とした環境計画に関する基礎的研究

昭和 49 年 8 月

盛 岡 通

目 次

第1章	緒 論	
1-1	緒 言	1
1-2	従来の関連分野の研究	3
第2章	潜在廃棄物環境モデル	
2-1	概 説	6
2-2	潜在廃棄物環境とその基本式	8
2-2-1	物質循環と潜在廃棄物環境	8
2-2-2	廃棄物 体と物質収支式	12
2-2-3	潜在廃棄物環境の物質代謝式	15
2-3	環境調査	21
2-3-1	環境調査としての三つの方法	21
2-3-2	計画化の過程としての環境調査	23
第3章	潜在廃棄物の断面流動調査の研究	
3-1	概 説	26
3-2	廃棄物断面流動調査の意義と調査法	28
3-2-1	廃棄物断面流動調査の意義	28
3-2-2	廃棄物断面流動調査の実施法	29
3-3	中小都市における物質流動の検討	32
3-3-1	中小都市における断面流動調査	32
3-3-2	通過物流の少ない閑地域での物質流動	38
3-4	都市連続地域における物質流動の検討	41
3-4-1	阪神地域での断面流動調査	41
3-4-2	地区物質収支の一次元解析	47
3-4-3	潜在廃棄物環境の動向の解析	51
3-4-4	二次元解析と拡散モデルの検討	54
3-5	都市散在地域における物質流動の検討	59
3-5-1	富山平野部における断面流動調査	59
3-5-2	地区別の物質流動と廃棄物濃度	64

3-6	廃棄物断面流動調査の課題	67
3-6-1	環境調査としての廃棄物断面流動調査の課題	67
3-6-2	廃棄物断面流動調査により把握された環境の構造に関する課題	67
第4章	航空写真調査を中心とした潜在廃棄物の現存特性に関する研究	
4-1	概 説	73
4-2	航空写真調査の意義とその環境科学への適用	75
4-2-1	航空写真調査の意義	75
4-2-2	主として環境科学的应用面における航空写真を用いた従来の研究	77
4-2-3	航空写真調査の方法	80
4-3	環境情報の収集のための二、三の実験	83
4-3-1	航空写真をもういた環境情報の収集のための基礎	83
4-3-2	地上写真をもういた環境情報の収集	88
4-3-3	航空写真の判読による環境汚染情報の収集	93
4-4	潜在廃棄物の現存量の推定法	96
4-4-1	航空写真を用いた潜在廃棄物量の算定	96
4-4-2	潜在廃棄物としての建物の代謝	103
4-5	航空写真調査の課題	115
4-5-1	環境調査としての航空写真調査の課題	115
4-5-2	航空写真調査により把握された環境の構造に関する課題	116
第5章	質問紙調査による社会的代謝の研究	
5-1	概 説	119
5-2	社会的代謝に関する質問紙調査の意義と調査法	121
5-2-1	質問紙調査の意義	121
5-2-2	質問紙調査を用いた関連分野における従来の研究	122
5-2-3	質問紙調査の実施法	124
5-3	社会的代謝の構造	128
5-3-1	社会的代謝の分類	128
5-3-2	社会的代謝の単一フローモデル	130
5-3-3	代謝係数の重合体モデル	134
5-4	家庭での製品レベルでの代謝に関する考察	138
5-4-1	家庭生活における物質代謝	138
5-4-2	家庭を対象とした質問紙調査	143

5-5	産業での製品レベルでの代謝に関する考察	158
5-5-1	産業における物質代謝	158
5-5-2	鉄鋼、木材、プラスチック、紙、セメントの代謝に関する検討	161
5-5-3	産業過程での投入産出分析	169
5-6	質問紙調査の課題	175
5-6-1	環境調査としての質問紙調査の課題	175
5-6-2	質問紙調査により把握された環境の構造に関する課題	176
第6章	各種手法による潜在廃棄物環境の解析の研究	
6-1	概 説	180
6-2	廃棄物の発生と流動に関する因子分析	181
6-3	投入産出型の都市代謝モデルに関する検討	186
6-4	蓄積・代謝・流動の関連に関する共軸図をもちいた考察	189
6-5	再循環に関する基礎的検討	197
6-6	各種手法による潜在廃棄物環境の解析結果の要約	207
第7章	潜在廃棄物の流動制御による地域環境計画の研究	
7-1	概 説	208
7-2	廃棄物の地域配分と環境容量	210
7-2-1	廃棄物の配分原理	210
7-2-2	廃棄物の配分からみた環境容量に関する検討	221
7-3	廃棄物の地域配分に関するケーススタディ	226
7-3-1	配分法にかかわる因子からみた対象地域の概要	226
7-3-2	二、三の因子にもとづいた廃棄物の地域配分例	229
7-4	廃棄物配分法における地域特性の検討	236
7-4-1	配分法における地域区分の検討	236
7-4-2	配分法にかかわる因子の検討	242
7-4-3	多地区間配分法と動的化	246
7-5	廃棄物濃度の諸相からみた廃棄物輸送計画の研究	252
7-5-1	廃棄物輸送の線形モデル	252
7-5-2	廃棄物濃度の制御を目的とした輸送計画に関する、線型計画法を用いた検討	257
7-6	要 約	265

第 8 章	物的要素の流動概念の総合的検討	
8-1	概 説	269
8-2	物的要素の流動概念の拡張	270
8-3	流動概念の関連モデルに関する比較検討	281
8-3-1	Garin and Lowry モデルとその発展型の検討	281
8-3-2	Forrester のシステムズ・ダイナミックスとその発展型の検討	284
8-3-3	広義の流動概念からみたモデルの比較	287
第 9 章	結 論	
9-1	本論文の結論	289
9-2	謝辞ならびにあとがき	298
付 録		299

第1章 緒 論

1-1 緒 言

本論文においては、廃棄物問題の主要側面であるところの、生産、消費の種々の段階で発生する廃棄物よりも、都市の物質代謝の結果として生じる廃物 — 物質循環と関連した廃物の発生に対して注目する。これは、循環の全体的把握なしに単に対症療法的な施設システムを追加することがさらに困難な局面に導くであろうという認識と表裏の関係にある。環境問題に対するアプローチの基本的方向としては、循環・代謝のできるだけ前段部と関係づけることをめざしている。

負の価値しかもたないとされている廃物のみを対象として最適状態の決定をおこなったとしても、正の価値をもつ多量のものがフィジカルなプランニングや現実の社会のなかでしめる大きな位置によって、その決定の効果は極めて小さいものに限定される。それよりもpositiveな物の配置やその種類の選択のなかに潜在廃棄物としての位格からみた独自の計画を導入する方が妥当であろう。

潜在廃棄物としての視点から重要な量的因子は、現存量（現在蓄積量）と地域における流動量、ならびに代謝生成量であり、観察すべき過程としては現存状態、流動過程、代謝過程の三つである。本論文では、これらに対応して航空写真調査、断面流動調査、質問紙調査に属する原理的な検討をおこない、実際例について各調査を実施して、その結果を考察することにした。

断面流動調査は、交通工学でよく実施される道路交通調査との関係が深く、航空写真調査は近年にいたって環境情報の把握法として注目され、その効用についても広く知られつつある。質問紙調査は、社会学や心理学において実態把握、現象や行動の解明のために広く用いられてきた。これら三つの方法が潜在廃棄物環境の把握に不可欠であるとする立場を堅持する。

さらに、三つの調査の結果にもとづき、物的要素の構造を解析し、フィジカルプランニングの一環として物的要素の配置、その量と状態、代謝生成物量の予測などに関する計画的考察をおこなう。以下で提案する基本的概念は物の相対的静止と流動という概念であって、代謝の場合にも質的变化の相対的停止期間である供用期間と急激な質の変化である廃物化の時期にわけられる。いずれの場合にも、相対的静止を流動の原動力と考え、対等どかつ対立する概念として計画要素を構成する。廃棄物の地域配分をテーマに具体的に示すところの、ストックとフローへの配分法はこの概念を具体的に表現し、計算手法としたものである。その背景には、後に示すように、Garin-Lowry によって導入されたフロー・ストック・アクティビティモデルや、Forrester により導入されたレベル変数とレイト変数を主要概念とするシステムダイナミックスと共通するものがある。それらとの比較についても具体的な例をもとに言及したい。

潜在廃棄物環境の計画は、マクロには地域における物質の蓄積量、流動量の間に代謝関係を介在した関係表現することからはじまる。この場合に、蓄積量、流動量のそれぞれに制約を設定する

が、これが広義の環境容量の特殊な表現であると考えられる。環境容量としての制約条件が不確定であるので、いくつかの特徴的な場合について、フローとストックの状態を観察する必要がある。この検討は、潜在廃棄物の段階について総括的にあつかう場合と、顕在化した廃棄物のみをあつかう場合の両方について実施しなければならない。顕在化した廃物の流動問題は、社会的背景としては固体廃棄物の輸送問題としてあらわれており、従来は主として輸送効率の点から数理手法をもちいて検討されてきているが、環境面からのアプローチについてはきわめて不十分な段階にあるといえる。

物的要素に注目すると、都市には数多くのものが多くの階層にわかれて存在している。この階層については、社会的代謝とも関連して一定の規則性があることはいうまでもない。個々の階層の物質の現存、流動、代謝について検討するとともに、それらの間の関係についても考察を加えたい。このうち、緑は生活環境の重要な因子であり、かつまた、そのきわめて緩慢な変化こそ環境計画における流動概念の具体例として適当であり、第一段階的な解析も終了しているが、本論文では構成上の関係から多くはふれないことにした。

以上、本論文の学問的背景と社会的背景の一端について記した。もとより、これらの背景をすべてくまへ、関連する対象のすべてにわたった考察にはほど遠く、できるだけ広く取扱いつつも、基本的には一つの断面から現象を解析し、計画のわくぐみについて基礎的な検討をおこなったものにすぎないことはいうまでもない。しかも、一定の段階の結論を導き出す過程としても、また解析と総合を統一する計画学の体系化の過程としても、種々の異なったレベルの論述が必要となることもやむをえない。しかし、そのいくつかは対象の大きさと複雑さ、問題設定の学問上の歴史的制約によるところが大きく、今後の研究の進展にともない、それらのレベルが引き上げられるとともに相互に関連づけられてゆくものと確信する。

1-2 従来の関連分野の研究

廃棄物の流動を指標とした環境計画という研究の関連分野は、大きくは次の三つに分けることができる。まず物的環境を対象とする点で共通するところの諸分野があり、環境のいろいろな側面からの分析的あるいは計画的アプローチがおこなわれている。二つには環境計画としての計画概念や計画手法が共通するところから計画学が重要な関連分野となっており、なかでも土木計画学と建築計画学ならびに地域・都市計画学の成果は十分に検討されることが必要である。第三には、計画化に先立って展開するところの地域環境の調査ならびに分析方法に関して考察がなされてきた分野である。おのおのについて従来の研究との関係を述べることにする。

物的環境は種々の要素によって構成されており、なかでも環境汚染の媒体でもあり空間の古典的な分類である大気、水、土に加えて、それらの無機的環境に生存する生命体、ならびに人間によってつくられた人工物が重要な要素となっている。人工物は潜在廃棄物という性格から将来においては廃物として顕在化することをおぼろげに察せられ、廃物化した後には処理処分されることになるが、多くは固体廃棄物として発生するところから、固体廃棄物の処理処分や運搬ならびに発生量予測に関しておこなわれてきた研究も重要な関連をもっている。

固体廃棄物を対象とした従来の研究では、その発展段階としての制約もあって、発生した廃物に対して当面の緊急を要する処理をおこなう上での現象の解明や計画的考察が展開されてきた面が強い。1968年以降¹⁾各地で産業廃棄物を含む固体廃棄物の実態調査が実施されているが、ほとんどが廃棄物の出荷額あたりの原単位を算定し、推定発生量に応じた処理施設の種類の種類と規模を決定することに主眼がおかれてきた。

事業所に対するアンケートによって実態を把握することは、これらに先だって西ドイツのチュービンゲン²⁾において全般にわたって検討されており、落葉などによる街路での廃物の発生もとらえられている。アメリカのフレスノ³⁾での廃棄物処理処分計画³⁾では、有数の有識者による点数評価法によって環境改善効果を定量化し、投資額の一定の範囲内で最大の効果をもたらすプランを採用しているが、選択案ごとの因子の重層的組みあわせは計画上の評価のひとつの方向を示している。

固体廃棄物の処理施設の配置や収集・輸送システムに関する計画的考察も少なくはないが、その多くは数理科学を応用して効率やコストを判断基準として一定の制約のもとでの解を見い出している。線型計画法を用いた家庭ゴミの収集車の車庫の配置に関する検討⁴⁾、ゴミ収集作業のシミュレーションによる収集作業の合理化⁵⁾などに加えて、廃棄物の発生量の増加にともなう動的な施設拡張計画⁶⁾も報告されている。

廃棄物の輸送ならびに処理処分の過程で用いられる計画上の手法は、潜在廃棄物であるときに扱われている交通計画や都市施設計画のそれと共通的基盤をもちうるのは当然であって、計画化への進捗は対象としての廃棄物の特性がどのように計画のなかに反映されているかという点から判断さ

れなければならないだろう。

環境に対する考え方には、生物の外界としての環境、人文地理学的な環境、地域計画などにおける物的環境などをはじめとして種々の概念があり、しかも人間環境としてみた場合には従来の概念が深く関係していることはいうまでもない。環境汚染の形をとって表面化した環境問題は、実は人間活動と自然との相互作用をいかに適正化するかという人間生存にかかっている重要な課題の解決をせまっている。この点から、人間活動とそれによって半人工化した環境を含む自然環境の両者の構造をあきらかにするアプローチを同時的に進め、両者を結合する部位での計画的考察を展開する必要性がとくに高いであろう。

本論文の潜在廃棄物環境において中心的な役割を与えられている物質循環の概念も、生物学や地球化学の分野で醸成されてきたが、人間の資源の利用にともなう化学物質の動きを追究することによって、社会地球化学という新分野が提案され⁷⁾、物質・エネルギー・情報の伝達をおこなう Ecosystem として環境をみることの有用性が主張されている⁸⁾。本論文の潜在廃棄物環境に関する研究の進行とほぼ時を同じくして、いくつかの注目すべき研究がなされている。微量化学物質の都市での現存量と挙動をあきらかにする試みがおこなわれており⁹⁾、元素や化学物レベルでの研究として貴重である。都市でのマクロな物質の交換については、多くの概念図が提示されている^{10), 11)}が、定量的な考察が十分にともなっている例は少ないようである。しかも、都市での物質循環や物質代謝による場所的な流動については、ほとんど検討されていないといって過言ではないだろう。一方、生態学においても Odum, H. T.¹²⁾に代表されるように、システム的な思考の上に立って環境問題にとりくみ成果をあげているが、数学モデルの恣意な適用をおこなっている研究報告よりも、生物環境において解明された諸法則を人間環境にあてはめるための定式化を緻密におこなっている報告¹³⁾の方が、現段階では興味深い。

土木計画学は、公共性を有する土木構造物や公共空間を中心的な対象として展開されてきた点から、環境の計画化の過程と共通するものを有している。なかでも上水道計画、下水道計画、水資源計画などの水系の計画分野では、水を環境因子として位置づける方向をめぐした研究もみられる。しかし、例として下水道計画をみると、計画要素や手続の各段階ごとに計画的考察が必要で、計画の高度化¹⁴⁾や最適化計画¹⁵⁾の成果をもってしても、環境の機構を十分に組み込むのは困難である。

さらに、水質管理計画、大気管理計画とも名づけることのできる計画学的アプローチもみられる。水質汚濁を制約にもつ地域開発を取扱った研究報告¹⁶⁾は、河川汚濁の実態把握の点で問題を残しているが、従来は末端現象として取扱われてきた水質汚濁を地域計画レベルへ組み入れている点については十分に評価されるであろう。大気管理計画についても、大気の運動にもとづいて汚染物の伝播モデルをつくり、発生源と環境汚染との間をつなぐシステム工学的研究¹⁷⁾もおこなわれている。現状の水質管理計画、大気管理計画と環境計画との差異をここで強調することは不要であって、当

分はいろいろの視点からみた環境の計画的要素をあらゆる側面から引き出して、それらを組み立て、環境の計画化を進めるためのフレームを作成することに専念すべきである。すなわち、環境の計画化に際しては、環境に対する新しい視点を設定し、環境の内的構造を引き出すような計画の手続きをおこなうことが必要である。大気、水、土地の三つの要素のいくつかの質的段階ごとに、一段上の環境の質を獲得するための困難さ（ひとまず、費用で表現している。）によって環境を評価している研究報告¹⁹⁾は注目に値するであろう。

建築学の分野でも、住環境から地域計画へという対象空間の拡大とともに、環境とのかかわりが大きくなっている。しかも、国土計画、地域計画、都市計画などと重複して社会システム工学、社会工学という分野からの研究もおこなわれている。都市計画に環境の視点を組み入れることを試みている著作¹⁹⁾や社会工学として環境にアプローチをしている石原らの研究²⁰⁾も大きな意義を有している。Forrester²¹⁾によって発展させられてきたシステムズ・ダイナミックスをはじめとして、システム工学的手法を環境を対象に適用した研究例のなかにも注目すべきものがある。ただ、環境の内的構造とはほとんど無関係にモデルを借用し、教學的遊戯におちいつている傾向も部分的には生じている。

建築計画に基礎をおき、本論文の内容と関連の深い研究としては、環境の美観的な視点からのアプローチならびに環境の原論的考察があげられる。前者については景観工学²²⁾という新しい分野が形成されつつあり、後者については渡辺の研究²³⁾が注目される。

本論文で取扱う三つの環境調査は、従来の研究との関連で比較するときわめて対照的である。断面流動調査は従来の道路交通調査と表面上は似ており、しかも調査の技術的な共通点があるが、主として着目している対象や計画化の過程での調査の意味が異なる*ので、交通調査の延長上にあるとは考えられない。逆に航空写真調査には、4-2で詳しく述べるように、環境調査として考えることのできる相当の蓄積があり、参考とすべき研究報告も多い。ただ、潜在廃棄物環境の観察、解析という視点はこれまではほとんど無かったので、それに小さわしい調査法、解析法が必要である。質問紙調査は社会調査においてはもっとも重要な位置を占めており、社会科学では頻繁に用いられてきた。その調査内容は客觀的事実を問うものと人間の意識、行動を問うものに入列することも可能であるが、環境調査としての質問紙調査としては、両方とも必要と考えられる。質問紙調査を用いた従来の研究については、5-2で詳しく述べる。

* 交通調査の場合には、調査が事実上ルーチン・ワークとなっている。

第2章 潜在廃棄物環境モデル

2-1 概説

本章では、環境のさまざまな構造のうちで、物質循環にもとづいた物質の廃棄化という一面から、研究の骨格としての潜在廃棄物モデルを提案する。環境を構成する物的要素は、世代の交代を含むような長期の時間スケールでながめるときには、1日や1月といった短期の時間スケールの変化とは異った特徴的な状態を示す。そこで、物的環境の代謝と代謝経路であるサイクルの概念を述べ、モデルに対応する場としての廃棄物体を提示する。ついで、基本式である物質収支式と物質代謝式について検討し、潜在廃棄物環境の計画的取扱いに必要な判定項目や支配因子についても論じる。潜在廃棄物の流動ならびに代謝の更態の機構の解明のために三つの環境調査法を提案し、それぞれの位置づけについて述べる。

まず、2-2-1 では物的環境として具体化している物質循環の形態を整理し、現実の人工サイクルの特徴を述べたあとで、還元部の自然的物質循環に対して環境サイクルの位置をあきらかにする。潜在廃棄物の特殊な形態としての完全廃棄物と定義し、環境構成物質の代謝過程で変化するものとして両者を統一的にとらえることを試みる。

2-2-2 では廃棄物体と場として流動し、代謝される物質の質量保存則を示し、その物質収支式を三次元、平面的な二次元ならびに一次元的に検討するとともに、代謝軸方向にそった価値軸に関する一次元表示をも試みる。積分操作により第3章で述べる断面流動調査の基礎式が導かれるのをはじめ、この項では収支式の種々の変形と応用を検討する。

2-2-3 では潜在廃棄物の物質代謝式を導くために、まずは都市での潜在廃棄物の動きをマクロに示す燃料、製品、廃物の量をもろいて収支式の各項の比較をおこなう。通常おこなわれている製出品出荷額に対する廃物発生量の原単位表示から、一次元代謝式を導くとともに、代謝式を同定してゆく上での留意点についても述べる。ついで、代謝軸方向の輸送項の値が物質濃度の単位時間あたりの増加量に比例するという設定から、第7章で展開する廃棄物の配分方法と同様の式を導く。さらに、代謝軸に沿う流れの潜在的価値の収支からも、蓄積量と輸送量との同様の一次結合式を提示し、これを以下の基本式とする。

2-3-1 では環境調査の三つの方法として、断面流動調査、航空写真調査、質問紙調査を提示し、潜在廃棄物環境の機構を解明するための環境調査として三つの調査が占める位置について述べる。端的にはそれぞれ、潜在廃棄物の地域的流動、地域での現存（蓄積）、質的な代謝を分担しているといえる。

総合的な環境の認識からすれば、調査と計画的考察が同時に発展させられなければならないので、2-3-2 において環境調査の計画化の過程における役割を明確にする。まず、ものをつくる計画と

管理する計画のちがいを述べ、環境計画の方向として、それらの差異の相互関係を明する。計画の実施プロセスと思考プロセスの両方の視点から廃棄物環境の計画化の現段階を示すとともに、一般的な思考プロセスの循環構造のなかに反映されるべき対象の特殊性についても述べる。本章では対象の巨視的構造と通常の生活時間を上まわる時間おくれの現象に注意するとともに、自己目的的な調査におわらないように環境調査を位置づける。

2-2 潜在廃棄物環境とその基本式

2-2-1 物質循環と潜在廃棄物環境²⁴⁾

都市域にもちこまれた各種の物質は、人間の生物学的生存と社会的・経済的・文化的諸活動に寄与し、やがて質・量を変じて廃棄物となる。農村においても食糧の一部が自給されているのを除くと、大部分は他の地域での生産物を消費する形態を示している。この人工的な物の流れにおいては、生産と消費という相互に対立する過程がある。生産は労働によって生成物に新たな価値を添加する過程であるといえるが、エネルギー的には一部の物質のエネルギー準位^{*}を下げることや過去のエネルギーの蓄積（化石燃料）や系外エネルギー（太陽エネルギー）の利用によって、エネルギー準位の高いものを造りだしている。消費は対象としている物質のエネルギーを下げることになるが、生産においても対象の範囲を広げるとかならずしもエネルギー準位を高くするとは限らないという点で、人間の生産と消費という概念は相互に共通する部分を有している。

自然界における物質の流れに注目するとき、生物は生産者と一次消費者、二次消費者とに分類され、それぞれの間に物質の循環がおこなわれ、個体の環境を変貌させる一方で環境に適応するように個体が進化しているといえる。自然界の生物を媒介とした物質循環を自然サイクル（natural cycle）とよぶが、人間活動が加わると物質循環は一変する。ひとつには、人間活動に必要な資源、生産・生活資材を加工する際の物質が多様で数量の多いことであり、自然の循環の水準と大きく異った様相を示している。さらに、人間の一生物種としての機能は一次消費者であるが、生産者と二次消費者、他の一次消費者の存在形態を一定限度内で変えうる点に特別の意味がある。農業のように一次生産そのものを管理する

部門が生まれ、二次消費者の役割を積極的に導入した廃棄物の処理（たとえば、活性汚泥法）もおこなわれる。このような人工的な物の流れを人工サイクル（artificial cycle）とよぶが、人口の稠密な都市においては全体の物質循環に対して人工サイクルのしめる比重が大きい。図2-1は人間活動にともなう物質

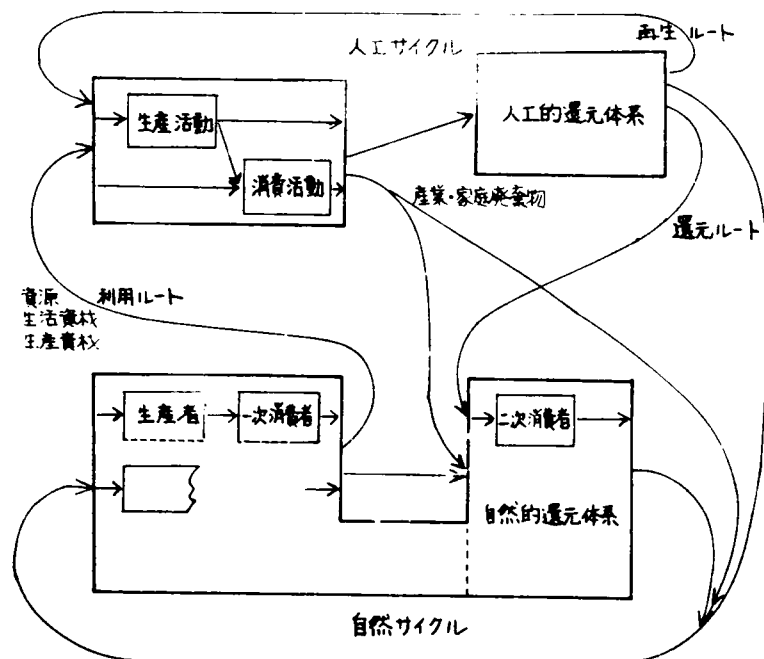


図 2-1 人間活動にともなう物質循環

^{*} ここでいうエネルギー準位とは、個々の物質の熱力学的なエネルギーの高さのみを意味せず、混合物質系その物質の分布密度に關するエントロピーを含む。

循環*の概念図であって、時間的空間的な実在とは離れた抽象的な意味で、利用ルートと再生を含む還元ルートがあり、自然サイクルの助けをかりつつ人工サイクルが設定されている。

生体においては、取り入れられた物質が変化をうけて廃棄物として排出される過程は、主体の側からみて物質代謝あるいは新陳代謝と呼ばれるが、人間生活が営まれている「まち」や「むら」をひとつの単位としたときに、必要な資材を運び入れて消費し、廃棄物を生み出す過程も代謝と称することができる。人工サイクルの卓越した空間である都市でのそれを都市代謝(urban metabolism)といい、都市においては、廃棄物の発生から処分までをつかさどる還元部代謝もまた人工的体系に大きく依存することになる。

都市環境での人工サイクルの現在の特徴を述べると、

- (i) 拠点大量生産によるサイクルの規模の巨大化、広域化が顕著であり、サイクルの各所での貯留量が多い。
 - (ii) 消費社会への展開にともなって、サイクルに沿う物質の質的变化の速度が増大してきたが、システムとしての渋滞が生じ、欠陥も露呈している。とくに還元部代謝にかかわるサイクルの不備は自然的還元ルートへ過大な負担を荷なわせている。
 - (iii) 新製品の開発による新しい物質に係るサイクルの生成がおこなわれる一方で、技術革新の結果として棄却された物質のサイクルが途絶している。
 - (iv) プラスチックスにみられるように、新しく生じたサイクルのいくつかにおいて、有機物質から出発しながら生物学的な連鎖がないためにサイクルが完結されず、代謝が滞っている。
 - (v) 廃用された鉄製品からの鉄の回収、下水の再利用などにみられる人工的な直接再生ルートの開発がおこなわれている。
 - (vi) 新たな人工サイクルの生成が他の物質系のサイクルや一段上部のサイクルの代謝を阻害している例がある。
- などの点があげられる。

人間の外界としての環境には自然サイクルと人工サイクルが関与しており、人間活動の直接的な影響に加えて、循環に沿ってある種の効果が間接的に伝達されている。物質的にみると、人間の環境に対する関係は一方的で不可逆的な性格をもっており、人間は環境から自分に必要な物質とエネルギーをとりだすが、利用する過程で物質を変化させ、反復利用には不適当な形で還元している。このことによって人間は自分の資源を消耗するとともに、環境を汚しており、この活動の結果が他の生物種の逆方向の回復作用によって解消されなければ、人間そのものの生存も短期間に不可能となるだろうという指摘²⁵⁾は正しい。通常の二次消費者の働きでは循環しえない負荷に対して、人工的還元体系を整備しておくことの必要性はこの点から明瞭である。

*** 循環とは「めぐりめぐって、またもとへもどること」(circulation)であるが、ある種の変化ののちにもとの性質をもつものへもどる方向をもつことと広義に解釈する。それゆえに完結してなくてもよい。

人工的還元体系は、いわゆる処理技術の体系でもあるが、ここではそれを介して人間活動と環境とが対立していることになる。一定レベルの処理技術の体系に対して人間活動が高くなれば環境が悪化し、逆に人間活動が低ければ環境は相対的に良くなるというのは一般論としては理解できる。ところが処理技術の体系が都市自身の重要な脈絡的器官を構成する段階になると、さらに環境と人間活動の関係は複雑となる。都市空間が人工物でしめられる傾向が強くなり、処理技術の体系が施設などを通じて独自の空間を要求するにつれて、処理技術の体系自身の空間と環境としての生活空間が共通する部分が多くなる。一方で、技術そのものが生産と処理という個別的なカテゴリーから抜け出て統一されることによって、人間活動の基本的因子である労働の手段としての技術という形で処理技術が再編成される方向の芽もある。すなわち、人間活動は環境と対立する面を有しながらも、それは内部に相互に包括的な関係を含むところの相対的な対立概念であるといえる。

自然サイクルにおいては循環の重畳性、階層性がみられ、幾段ものサイクルが組みあわさっており、人工的還元体系もその機能を十分にはたすためには、自然サイクルと類似の基本的構造をもつ必要がある。人工的還元体系における物質循環と環境サイクル (environmental cycle) と称すると、人為的な代謝と直接的な再利用を含む環境サイクルを地域特性にあわせて構成することが環境を保全する上できわめて重要な課題となろう。自然サイクルがその性格を少しずつ変えながら、サーキュレーションをおこなっているのに対し、人工サイクルあるいは環境サイクルにおいては実質的なサーキュレーションがおこなわれていない場合が多い。開放状態にあるサイクルを完結するには下段のサイクルを上段のサイクルの一部に接続するだけでは不十分であるが、自然界にもみられる連鎖型サイクルは有効であると思われる。

人工サイクルに沿って動いてきた物質は、サイクルの密度の高い空間において相対的に静止することとなる。その間、人間環境内での輸送や物質流動と空間占有を通じて、物的環境因子としての重要な役割をはたす。人間環境内の物的要素は人間との関係で効用を発揮しつつ、時間を経過するにしたがって変質してゆく。その価値は社会的諸条件によって規定され、たとえば文化財のようにかならずしも減少するとは限らないものもあるが、自然科学的諸性質は劣化し、全体として廃物化してゆく。都市においては多くの物的な要素が環境を構成しているので、それらを環境構成物質 (environmental constituents) と呼ぶこととすれば、次のような二つの面をもっているといえる。

効用を有する限りにおいては環境構成物質は人間活動のレベルを向上させ、逆に高い人間活動はそれに相応した環境構成物質の存在を要求するので、環境と人間活動が対立しているようにも表面的には理解されない。ところが、正価値を有するすべての物質は時間の経過とともにいずれは廃物化することを避けられず、廃棄物となった時点では、それをつくりだした人間活動は環境を劣化するものとして対立的に把握される。本来の機能を失って廃棄物となる前後に急激な質の変化があるとしても、これでは環境構成物質を統一的に認識する立場からは合理的ではないと判断できるのであ

ろう。

環境構成物質を、将来は廃物化する物質である潜在廃棄物(potential wastes)の集合体であるとするれば、物質供用の開始時には人間活動と環境とが相互包括的であり、廃物化の過程で対立的側面が強くなるものと考えることができる。このように、環境に対してその物的要素の廃物化の普遍性に着目したとき、環境構成物質の機能を潜在廃棄物環境(Potential Wastes Environment)と呼び、環境の計画的取扱いの極限化した環境の見方として重要な意義をもつ。潜在廃棄物は機能をもつ空間において代謝され(都市空間でのそれを都市代謝という)、廃用された時点より異った性格が支配的にあらわれてくる。廃用(obsolescence)とは対象としている物質に対して用いている主体が使用をとりやめることであるから、廃用の物質的基準はかならずしも一定ではない。また、将来の確実な再使用の見通しがなくままに長期にわたって保管されている場合に、廃用時期の決定を明快におこなうことは困難であるが、ここでは環境構成物質の使用の主たる目的からみて、使用を廃した時期としておく。廃用後の物質を完全廃棄物(actual wastes)と呼び、とくに完全廃棄物という語と対照して潜在廃棄物という場合には、廃用前の物質を意味するものと約束しておく。潜在廃棄物自身は代謝の各段階によって区別され、共通的には2-2-2にのべる価値軸というような相対的概念で説明されるが、対象とする物質によって異った区分の実体をもっているであろう。潜在廃棄物の供用から廃用までの過程とそれに接続する動きを把握するには、潜在廃棄物の全体の運動を代表する物質を選択し、その代謝ならびに流動を具体的に検討することが必要である。潜在廃棄物はその機能や材質などによって分けられるが、一つの属性をもったクラスの潜在廃棄物の運動を代表する物質を「指標物質 — 指標廃棄物系」(indicative material -- indicative waste system, 指標物質と略称することもある。)と呼ぶ。

以上のことから、潜在廃棄物は、指標物質の物質サイクルの複合的結合と、それに沿った物質の代謝および流動という構造をもっていることが明然である。通常は、代謝(metabolism)とは代謝主体の側からみた概念として用いられ、流動とは個々の運動体に関する概念として用いられている。しかし、本論文では、前者が被代謝物の代謝過程での質的な変化を意味することが多く、後者は代謝過程での物質の空間的位置の変化を意味することが多い。他方、代謝および流動というように対照的に用いられている場合と異なり、抽象的に物質の流動という場合には質的な変化をも含めた概念である。

さて、物質サイクルのうちで循環の後半部をうけもつ環境サイクルの重疊的組みあわせを考えると、次のような三段階があるであろう。

(i) 個々の生産単位、消費単位でのサイクル；事業所での発生不良品や加工くずを生産段階に還流させることはすでにおこなわれている。代謝主体にとって触媒的作用をもつものやインプットの特性がさほど変化していないものは再循環しやすいが、そうでない物質は廃物として一定の処理

をほどこした後に次段のサイクルに接続されるか、もしくは自然のサイクルに転嫁されることが多い。

(ii) 街区や都市のレベルでのサイクル；個々の生産単位や消費単位からの廃物を受けて、処理をおこなうことにより一部分を再資源化し、残りは自然のサイクルに依存することとなる。現在の清掃事業や下水道事業は、その果している機能は不十分であるが、理念的にはここに位置すべきものである。

(iii) 地球科学的レベルでのサイクル；都市レベルのサイクルに接続するサイクルで、それに関連する諸要因からみて最も大規模である。現在では廃物の処分は自然のサイクルに全面的に依存しているが、それを機能的に受けもつサイクルで、化合物レベルの廃物を取扱うことと考えられる。このサイクルは自然還元という概念を人工的に具体化するとき生まれるが、自然の機能を十分に理解しないと自然環境の破壊に直接的につながる。

これに対して人工サイクルの前半部をみると、わが国では、石油、鉄鉱石をはじめとして主要な資源はほとんど海外に依存しており、製品レベルでも生産地と消費地を結ぶ流通は広域化しているために、それらの段階での矛盾が消費過程でさらに拡大する傾向がある。

いずれにせよ、潜在廃棄物環境の流れとしての側面を解析するにあたっては、指標物質の動きに注目した取扱い（水理学でいうラグランジェ的取扱い）とコントロールボリューム的な代謝空間に注目した取扱い（水理学でいうオイラー的取扱い）を平行して展開することが大切である。さらに潜在廃棄物環境の代謝過程では、同時に質が変化するのであるから、代謝主体の構造や代謝・流動の原動力を把握することも同時に展開される必要があろう。まず、次項では空間を設定して基本式を検討することとする。

2-2-2 廃棄物体と物質収支式^{24), 26)}

都市における人工サイクルや環境サイクルに沿った物質の運動は、具体的には質的变化をともなした人為的な物質流動としてあらわれている。都市空間では大小規模のサイクルが

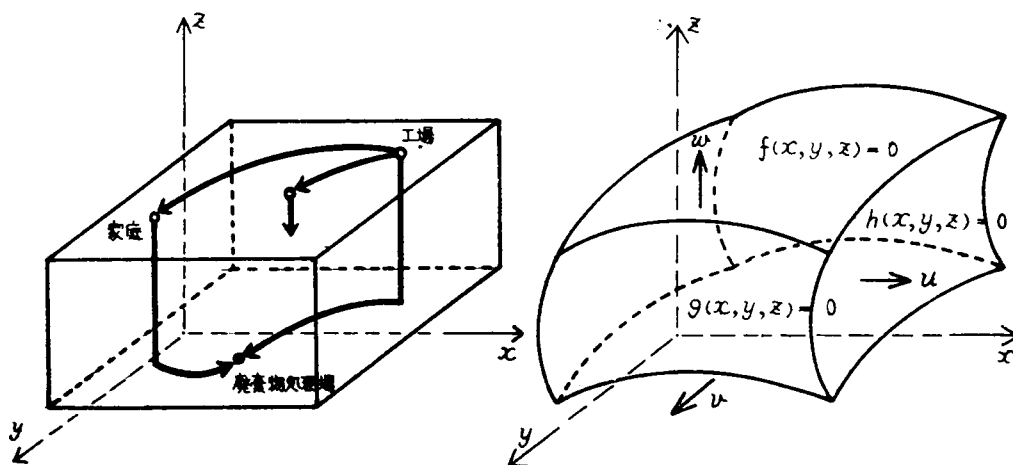


図 2-2 廃棄物体

複雑に組みあわさっており、個々の物質の運動の原動力は個別にあるが、全体としては都市代謝が原動力となっていると考えられる。そこで、図 2-2 のように場を設定し、具体的な物質流動を環境と関連づけて検討することにする。ここに、 $x-y$ 平面は対象としている地域を、 z 軸は物質の質を意味し、 z 軸もひとまず長さの単位であらわしておくこととする。上側平面、底面はそれぞれ、新製品面、完全廃棄物平面であって、おのおのの平面上での移動は特殊な意味をもつ。一方、上面ならびに底面には人工サイクルや環境サイクルの他の段階との連絡接点があり、境界条件として考えるべき性格がある。この場は潜在廃棄物と完全廃棄物からなる環境構成物質の流動の場であり、都市代謝とかかわりつつ、物質循環の流れに沿って潜在廃棄物が顕在化してゆく場として、“廃棄物”体 (obsolescence body) と呼ぶこととする。

廃棄物体の表面や内部を流動する物質の質量保存則は次のように表現される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} + \frac{\partial(cu)}{\partial y} + \frac{\partial(cw)}{\partial z} = \quad ? \quad (2-1)$$

ここに、 c は対象物質・対象指標の濃度^{*}、 u 、 v 、 w は対象物質の x 、 y 、 z 軸方向の速度成分、 $?$ は廃棄物体の内部湧出による対象物質の単位空間・単位時間あたりの増加量、 t は時間である。 z 軸を長さの単位で表現することには若干のあいまいさがあるが、新製品の際の有用期間を長さで表現して対応関係を把握しておき、全体に対する長さの割合で残存する有用期間を示すことは可能であろう。 u 、 v は対象物質の地域的流動速度を、 w は生産ならびに消費過程での代謝速度 (metabolic velocity) を意味する。物質の質が主として相対時間に依存するとすれば、 $w \cdot t \rightarrow z$ と変換されよう。廃棄物体の表面での対象物質濃度の系外サイクルによる増減は w の境界条件値として定まることになる。

実際の地域断面での流動量は z 軸に関する分布をもつことになるが、現時点では質を減じつつある中間的段階で場所的流動をおこなうことは多くなく、廃棄物体の上面ならびに底面に近い層における流動が大部分をしめているであろう。いずれにせよ、物質循環の過程と取扱う場合に物質の収支は重要であり、式 (2-1) は流動の視点からみた環境計画一般の基礎式である。

式 (2-1) において、 $?$ は廃棄物体の内部での環境構成物質の発生を意味するので、通常はゼロとしてよい。いま、 c 、 u 、 v 、 w の分布がなめらかで連続 (正確には微分可能) であるとするれば、式 (2-1) を体積要素 dV で積分する際に、Green-Gauss の公式により面積分に変換することができ。すなわち、

$$\iiint_V \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) dV + \left[\iint_S (cu \, dy \, dz + cv \, dx \, dz + cw \, dx \, dy) \right] = 0 \quad (2-2)$$

となり、

$$\text{新製品面; } f(x, y, z) = 0$$

* 単位地域面積あたり、価値軸 (z 軸) の単位中あたりの存在密度

完全廃棄物面; $g(x, y, z) = 0$

地域境界面; $h(x, y, z) = 0$

$$\left. \begin{aligned} - \left[\iint (cu \, dy \, dz + cv \, dx \, dz + cw \, dx \, dy) \right]_{f(x, y, z) = 0} &= I_{IN}^* - I_{OUT}^* \\ - \left[\iint (cu \, dy \, dz + cv \, dx \, dz + cw \, dx \, dy) \right]_{g(x, y, z) = 0} &= O_{IN}^* - O_{OUT}^* \\ - \left[\iint (cu \, dy \, dz + cv \, dx \, dz + cw \, dx \, dy) \right]_{h(x, y, z) = 0} &= I_{IN} + O_{IN} - (I_{OUT} + O_{OUT}) \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

$$\iiint \left(\frac{\partial c}{\partial t} \right) dV = \frac{dR}{dt}$$

とすると,

$$\frac{dR}{dt} - \{ (I_{IN} - O_{OUT}) + (O_{IN} - I_{OUT}) \} = (I_{IN}^* - I_{OUT}^*) + (O_{IN}^* - O_{OUT}^*) \quad (2-4)$$

となる。ただし、次のような意味をもつ。

R ; 対象物質の地域内での総蓄積現存量 (standing mass)

I_{IN}^*, I_{OUT}^* ; 新製品面を経由しての地域内の独自発生量, 独自消滅量,

O_{IN}^*, O_{OUT}^* ; 完全廃棄物面を経由しての地域内の独自発生量, 独自消滅量,

I_{IN}, I_{OUT} ; 地域境界面を経由しての潜在廃棄物の地域への流入量, 流出量,

O_{IN}, O_{OUT} ; 地域境界面を経由しての完全廃棄物の地域への流入量, 流出量。

閉じた地域を対象として, 式 (2-4) と実質流入量, 実質流出量で書きなおすと, 次のようになる。

$$\frac{dR}{dt} - (I_S - O_S) = I_S^* - O_S^* \quad (2-5)$$

式 (2-5) は物質が蓄積されながら代謝されている循環の質的变化の機構を, サイクルのインプットとアウトプットとして測定される断面量でマクロに表現したものである。さらに, 循環の質的な側面を無視して, 地域の流入・流出機構を強調すると次式が得られる。

$$\frac{dR}{dt} - (I_c - O_c) = I_c^* - O_c^* \quad (2-6)$$

ただし,

$$\left. \begin{aligned} I_S &= I_{IN} - I_{OUT} \quad , & I_c &= I_{IN} + O_{IN} \\ O_S &= -O_{IN} + O_{OUT} \quad , & O_c &= I_{OUT} + O_{OUT} \\ I_S^* &= I_{IN}^* - I_{OUT}^* \quad , & I_c^* &= I_{IN}^* + O_{IN}^* \\ O_S^* &= -O_{IN}^* + O_{OUT}^* \quad , & O_c^* &= I_{OUT}^* + O_{OUT}^* \end{aligned} \right\} \quad (2-7)$$

であり、まとめると、サフィクス S は抽象的な代謝過程の断面での収支を、 C は質的变化とは無関係な地域境界面での収支を、さらに $*$ は生産や廃棄物処理にともなう独自の発生、消滅を意味する。

対象物質の循環の質的な変化に注目して、基礎式を抽象的なサイクルの断面について積分すると、 q_z'' を価値軸に対しての横からの流入量として、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(Cw)}{\partial z} = q_z'' \quad (2-8)$$

のように表現される。一方、対象物質の質を連続的に取扱わずに、いくつかの質の水準ごとに区別して、対応する z 値の範囲で積分すると、次式が成立する。

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial(C_i \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(C_i \cdot v)}{\partial y} = q_z' \quad (2-9)$$

ここに、 q_z' は z 軸方向の流入量である。図 2-3 から理解しうるように、価値軸を主軸とする式 (2-8) と実空間での二次元表示である式 (2-9) とは相互補完的であって、 z と i のレベルが一致する場合には、前者の左辺第 2 項と後者の右辺が、後者の左辺第 2, 3 項が前者の右辺と対応している。そこで、式 (2-1) のかわりに、いくつかの質の水準ごとに式 (2-9) を連立させ、廃棄物体の層ごとの交換量を添えて表現することができる。簡単のために y 軸方向の速度項を無視すると、 $q'_{i,(i+1)}$ を i 層より $(i+1)$ 層への単位長さあたりの転入力として、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(C \cdot u_i)}{\partial x} &= q'_{0,1} - q'_{1,2} \\ \vdots \\ \frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial(C_i \cdot u_i)}{\partial x} &= q'_{(i-1),i} - q'_{i,(i+1)} \\ \vdots \\ \frac{\partial C_n}{\partial t} + \frac{\partial(C_n \cdot u_n)}{\partial x} &= q'_{(n-1),n} - q'_{n,(n+1)} \end{aligned} \right\} \quad (2-10)$$

のように表される。

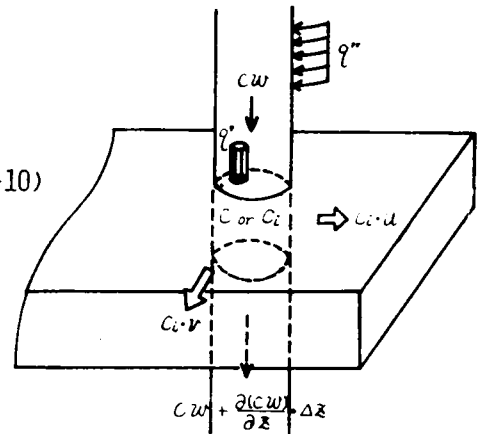


図 2-3 物質サイクルの流れに沿った収支

2-2-3 潜在廃棄物環境の物質代謝式²⁴⁾

潜在廃棄物環境での物質代謝は対象とする物質の価値と空間的位置の変化の過程であって、収支式である式 (2-1) との関係でのべると、 u 、 v 、 w のそれぞれを律する関係式が提示されることによって、代謝現象が明確に把握されるであろう。この関係式は流体運動の運動方程式と対応しており、物質代謝の機構をあらわしているところから、物質代謝式(代謝式, equation of metabolic reaction rate)と呼ぶこととする。3つの関係式が提示されれば、収支式と連立させることによって、廃棄物体の内部の現象が C 、 u 、 v 、 w の時間的・空間的分布として同定されることになる。

しかし、流体運動がニュートン力学の第1,2,3の法則にしたがい、運動量保存の法則とエネルギー保存の法則によって規定されるのに対して、物質代謝についてはそれを支配するのがどのような保存量であるのか、はたしてそのような保存量が存在するのかどうかすら速断できない。

そこで、研究の方向としては、第5章に示すように対象物質ごとに具体的な代謝現象を数量的に表現するなどの個別的な解析の結果を演繹するとともに、生体の代謝現象から導かれた諸関係のうち一般化が可能なものを独自に検討することが必要であろう。さらに環境の計画をおこなう視点からは、目的に合致した環境の状態と代謝現象をもたらす原動力と代謝式のなかで評価することに留意しなければならず、計画要素として制御可能な因子群と代謝式との関係を組み立てることも忘れてはならない。流体の運動や生体での代謝を律する運動方程式あるいは代謝式のアナロジーによって潜在廃棄物環境の物質代謝式を考察する際には、一般的な注意事項に加えて、このような計画面での考慮から自由度の高いモデル構造を採用することを心がけるべきであろう。

まず、開水路流れのアナロジーから一次反応型の物質代謝式を導くこととする。図2-4のように、 δx 区間の都市域に対して、流入資材量が I_1 として供給されて、都市内での活動の結果、生産品が価値軸 z の高い部分から O_1 として、廃棄物が z の低い部分から O_2 として流出することとすれば、次式が成立する。

$$\frac{dR}{dt} = I_1 - O_1 - O_2 \quad (2-11)$$

ここに、 R は都市域に蓄積している環境構成物質の量であり、他の流出入量は実質量として表示されている。都市内部での環境構成物質の独自の発生、消滅が少なくと次のような近似関係がなりたつ。

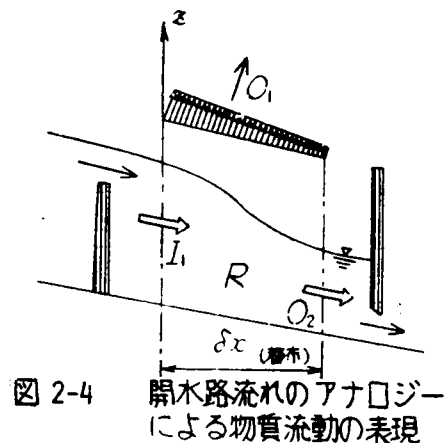
$$I \cong I_{IN}, \quad O_1 \cong I_{OUT}, \quad O_2 \cong O_s \quad (2-12)$$

代謝の活発な都市では I, O_1, O_2 のいずれもが大きい。都市の特性によって各項の相対的な大小は異なる。表2-1はいくつかの都市の類型ごとの一般的傾向を示したものであるが、特に蓄積増加量がほとんどゼロ ($dR/dt \cong 0$) であるような定常状態の都市では、

$$O_2 = I - O_1 \quad (2-13)$$

とみなすことができる。定常状態はある意味では理想状態であり、その場合の諸値を基準として比較を進めることが有意義であろう。

いま定常状態を考え、式(2-11)の右辺第2,3項の製品出荷量と廃棄物発生量との間に関数関係が



成立すると、一般的には次のように表現される。

$$O_2 = f(O_1) \quad (2-14)$$

表2-1 物質収支からみた都市の類型

	$\frac{dR}{dt}$	I_1	O_1	O_2	特 徴
成長都市	大きい				R や I_1 に対する dR/dt の値が大きい。
平衡都市	ほとんどゼロ				R の増減がほとんどない。
斜陽都市	マイナス				I_1 が少なく、 R が漸減する。
一次加工型都市				大きい	R に対する I_1, O_1, O_2 の比の値が大きい。
高度加工型都市			大きい		同じものが I_1, O_1 と二重に計上されることが多く、他都市より O_1 が大きい。
三次産業型都市		小さい			R に対する I_1, O_1, O_2 の比の値が小さい。
住宅都市			ほとんどゼロ		O_1 がゼロに近い。
流通都市		小さい	小さい	小さい	地域内外の交換量が多い割には、実数値である各項の値は小さい。
再開発都市				大きい	相対的に O_2 が大きい。

特に、投入産出の原単位 (original unit) 表示が可能であれば、

$$O_2 = a \cdot O_1 \quad (2-15)$$

が用いられることになる。ここで、式(2-13)と式(2-15)を用い、 x 軸方向の物質移動速度 u を一定として、図2-4の上流、下流の断面量(断面積)の平均から、 R を近似的に*計算すると、

$$(1 + 1/2a) \cdot O_2 \cdot \delta x / u = R \quad (2-16)$$

となる。²⁷⁾ R と O_2 の比を K とおくと、 K は移動速度 u に比例する。

$$O_2 = K \cdot R \quad (2-17)$$

$$K = \frac{u}{(1 + 1/2a) \cdot \delta x} \quad (2-18)$$

現在の代謝式はまったく式(2-15)の経験則にだけこだわっているといえる。式(2-17)、(2-18)は収支式に立脚して u の経験値をも組み入れたものである。物質循環の代謝の流れに沿って書きあらためると、

$$O_s + O_s^* = K' \cdot R \quad (2-19)$$

となる。^{**} 式(2-19)は環境構成物質の蓄積現存量に一次比例して廃物が発生するという構造を表現し

* 越流どきや水門と離れた部分の断面平均であり、 $u = \text{const}$ とするなどの不合理点があるが、概念の展開の補助に用いているだけであり、代謝速度 u が一定で式(2-13)、式(2-15)が成立しうるのであれば、式(2-17)は導くことができる。

** 式(2-7)を参照すればわかるように、厳密には $O_s + O_s^*$ は理論的廃物発生量ではない。 O_{out} のうちで地域内部に由来するもの(通過量ではないということ)と O_{out} を加えたものが理論的廃物発生量に相当する。

たものである。

たとえば清掃事業が十分でない都市のように、還元部の代謝能力が不足している場合には、本来は O_2 として実質的に排除されるべき物質が都市内に残留することとなる。適切な処理・処分をおこなわずに投棄されたものも堆積して環境悪化をひきおこす。そのような質の滞留量を R_2 として分離すると、式(2-11)は、

$$I - O_1 - O_2 = \frac{dR_1}{dt} + \frac{dR_2}{dt} \quad (2-20)$$

となる。 O_2 と dR_2/dt であらわされる物質はほぼ同じ価通軸の位置にあるとみなすのが妥当である。特殊な場合として、 $I - O_1 = 0$ という場合を想定すると、

$$O_2 = -\frac{dR}{dt} = -\frac{dR_1}{dt} - \frac{dR_2}{dt} \quad (2-21)$$

であるから、瞬時的には廃物を発生しない構造であっても、過去の蓄積物に由来するところの廃物が発生することがありうることを示している。すなわち、都市再開発にともなう潜在廃棄物の顕在化は右辺第1項に関連するし、環境回復にともなう投棄された廃物の回収は右辺第2項に関連するであろう。式(2-17)に対応して、投入資材量と製品産出量がつりあっている場合の一次反応型の代謝式として、式(2-21)を式(2-17)に代入して

$$\frac{dR}{dt} = -K'' \cdot R \quad (2-22)$$

が得られる。

ここで、反応係数である K, K', K'' は時間のマイナス乗の次元をもち、長期にわたって定数であるとは想定できない。式(2-22)は、投入資材量と製品産出量がほぼつりあっており、その差と廃物発生量がつりあって、さらに廃物発生量と製品産出量との比が一定であるような、安定 ($O_2/O_1 \cong \text{const}$) でかつ平衡 ($dR/dt \cong 0$) で代謝速度が一定 ($u = \text{const}$) であるシステムについての代謝式である。そこで、ひとまずは一次反応型の代謝式を想定しながら、いくつかの代表的な物質、現象に関して反応係数 K, K', K'' の値の変動を観察することが必要であろう。

循環の代謝軸にそった流れを図2-5の左図のように表現し、物質収支式である式(2-8)に対応す

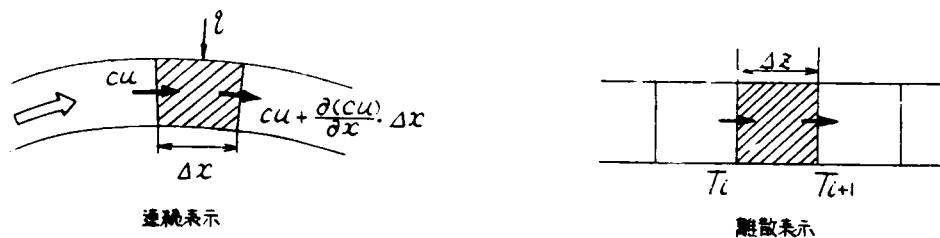


図 2-5 循環の代謝軸に沿った流れ

る代謝式の一般形について若干の検討をおこなうこととする。代謝量の単位代謝経路長あたりの増加量が物質濃度の単位時間あたりの増加量に比例するとすると、

$$\frac{\partial(Cw)}{\partial z} = \varepsilon_1 \cdot \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2-23)$$

が成り立つので、式(2-8)と連立すれば、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(Cw)}{\partial z} = (1 + \varepsilon_1) \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1 + \varepsilon_1}{\varepsilon_1} \cdot \frac{\partial(Cw)}{\partial z} = q_z'' \quad (2-24)$$

となる。ここで、0あるいは1に等しくないような任意定数 ε_2 を導入すると、

$$(1 + \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2) \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{(1 + \varepsilon_1) \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cdot \frac{\partial(Cw)}{\partial z} = (1 - \varepsilon_2) \cdot q_z'' + \varepsilon_2 \cdot q_z'' = q_z'' \quad (2-25)$$

が成立する。

ここで、各項の係数を α , β とおけば、

$$\alpha \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + \beta \cdot \frac{\partial(Cw)}{\partial z} = q_z'' \quad (2-26)$$

$$\alpha = (1 + \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2), \quad \beta = \frac{(1 + \varepsilon_1) \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (2-27)$$

となる。 $0 < \varepsilon_1 < 1$ であるならば、循環のある部分での貯留量が増加している際に、単位時間あたりの増加量の一定の割合が流出してゆくことを意味する。式(2-17)が蓄積現存量に対して代謝量を表現しているのと異なり、式(2-26)は蓄積現存量の増加量に対する代謝量の関係を示している。すなわち、式(2-26)は蓄積現存量の増加という動的変化を直接に組み入れた代謝式となっており、蓄積現存量と代謝量との間の関係は間接的にとらえられている。式(2-18)と同様に経験則の性格をもつが、計画の視点からみると、 α , β に含まれている ε_1 , ε_2 の自由度がかなり大きく、計画因子として取扱うには都合がよいといえる。

他方、図 2-5 の右図のように代謝軸にそった流れを考えて、物質に潜在的価値を与え、それが一定の条件下で保存されるとすると、物の収支式と価値の収支式が成立することになる。

$$T_i - T_{i+1} = \frac{dR_i}{dt} \quad (2-28)$$

$$a_i \cdot T_i - a_{i+1} \cdot T_{i+1} = b_i \cdot \frac{dR_i}{dt} + \frac{db_i}{dt} \cdot R_i \quad (2-29)$$

ここに、 T_i , T_{i+1} は空間 i への代謝にともなう単位時間あたりの転入力、空間 i からの転出力であり、 R_i は空間 i の蓄積現存量である。 a_i は空間 i への転入段階における単位流動量あたりの相対的な潜在的価値を、 b_i は単位量の蓄積現存量の潜在的価値を意味する。

式(2-28)を代謝軸 z の微小区間について適用してみる。単位代謝経路長あたりの蓄積現存量を r 、代謝断面の流動量を T とし、それぞれに潜在的価値 b , a を与えると次のように表現される。

$$-\frac{\partial(a \cdot T)}{\partial x} = \frac{\partial(b \cdot r)}{\partial t} \quad (2-30)$$

すなわち、

$$b \cdot \frac{\partial r}{\partial t} + a \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = -\left(\frac{\partial b}{\partial t} \cdot r + \frac{\partial a}{\partial x} \cdot T\right) \quad (2-31)$$

である。ここに、 $(\partial a / \partial x)$ は単位代謝経路長あたりの「流動量の潜在的価値」の変化量を意味する。式(2-30)は断面通過量に単位量あたり a なる価値を、蓄積量に単位量あたり b なる価値を与えたものであるが、代謝軸に対する横からの流出入量を考慮していないので、式(2-26)と直接に比較することはできない。横からの流出入量 q_x'' (流入量を正とする。)を加えると、式(2-30)は次のようになる。

$$\frac{\partial(b \cdot r)}{\partial t} + \frac{\partial(a \cdot T)}{\partial x} = a \cdot q_x'' \quad (2-32)$$

横からの流入量 q にも潜在的価値 a を与えており、式を変形すると、

$$b \cdot \frac{\partial r}{\partial t} + a \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = r \cdot q_x'' \quad (2-33)$$

となる。ただし、

$$r = a - \left(\frac{\partial b}{\partial t} \cdot r + \frac{\partial a}{\partial x} \cdot T\right) / q_x'' \quad (2-34)$$

である。よって、 $b/r = \alpha$ 、 $a/r = \beta$ とおけば、式(2-26)を導くことができる。このような背景から、式(2-26)は、特殊な場合において潜在的価値の保存を規定しており、物質代謝の構造をあらわす基礎式であるといえる。

2-3 環境調査

2-3-1 環境調査としての三つの方法²⁶⁾

潜在廃棄物環境の解析ならびに計画の第一歩は、2-2 で設定した廃棄物体の内部で生じている現象を把握することであり、そのためには物質収支式と物質代謝式を中心とした理論的な展開と整合する環境調査を実施することが不可欠である。環境調査は環境の計画化の全過程からみると、比較的初期の段階において実施されるべき性格を有するが、のちに述べるように、調査結果にもとづいた計画的取扱いからのフィードバックをうけて、調査の目的や内容に大巾の修正がなされることもありうる。一般的には、潜在廃棄物を対象とした物的環境調査は、潜在廃棄物ならびに完全廃棄物の存在の仕方と環境とのかかわり方を明らかにする手段であるといえる。潜在廃棄物環境という視点においては、環境を構成する潜在廃棄物の運動形態、なかんづくその現存（相対的静止）と流動を地域的広がり、時間的変動、質的变化という三つの重要な側面から把握することが必要である。

潜在廃棄物の実空間における流動をまずとりあげよう。生活物資ならびに生産物資が供給地より需要地へと運搬される場合に大部分の流動が観察されることになるが、実空間における人工的な流動の具体的内容は、輸送されている物質、輸送手段ならびに輸送の発着地点の間の関係を主にした輸送関係にもとめられるべきである。輸送手段で分割すると、自動車輸送をはじめとして、鉄道輸送、船舶輸送、航空輸送などがあるが、狭域である都市内部での廃物を含む流動を対象とすれば、あとの三者よりも人力によるものが卓越する場合もありうる。そのうちでも航空輸送は量的に少なく、特定の飛行場を経由するものを除けば無視しうるし、船舶輸送も港湾を有する臨海部以外では直接には関与しない。表 2-2 は昭和 45 年までの国内の輸送量を輸送手段別に示したものであるが、昭和 41 年以降は（輸送距離×輸送量）の値においても、自動車輸送が鉄道輸送を凌駕している。

2-2-1 において述べた第二段の環境サイクルの主たる経路が道路以外に設定されている都市を例外として除き、都市あるいはいくつかの都市の集合である地域のレベルの空間を対象として環境の解析をおこなうときには、潜在廃棄物の支配的な輸送手段を道路にもとめることは妥当である。結論的には道路の各点での物資の輸送を廃棄物体での流動の一部とみなし、その量と質を把握するた

表 2-2 輸送機関別貨物輸送量の比較

	輸 送 量 (単位 $10^3 t$)						輸 送 量 × 輸 送 距 離 (単位 $10^8 t \cdot km$)					
	自動車輸送		鉄道輸送		内航船舶輸送		自動車輸送		鉄道輸送		内航船舶輸送	
1950	309,000	59%	163,692	31%	49,282	10%	54	8%	338	53%	255	39%
1956	651,000	70%	209,499	23%	68,882	7%	110	11%	476	50%	368	39%
1960	1,156,291	77%	238,119	16%	108,286	7%	208	15%	554	40%	615	45%
1965	2,193,195	83%	252,300	10%	179,654	7%	484	26%	574	31%	806	43%
1970	4,626,069	89%	255,304	5%	342,076	6%	1,359	40%	634	18%	1,425	42%

注) 「陸運統計要覧 (昭和46年版)」による。

めの調査が必要となる。断面流動調査(cross sectional survey)はそのような背景をもち、潜在廃棄物の地域的流動を都市のダイナミックな代謝機構のあらわれとして、道路断面で流動量を測定するものである。物質の地域的流動に関しては、鉄道や港湾における発着物質の統計資料などがあるが、本研究の目的からみると補助的な役割しか果しえない。しかし、地域的流動のみに限ったとしても、他の二つの調査に依存する部分があり、断面流動調査以外のアプローチが必要でないとはいえない。たとえば、質問紙調査などにより流動の発着点を明確にすることが平行して進められるならば、断面流動調査の有効性もさらに高まるであろう。

都市における潜在廃棄物の現存量は非常に大きくなっているとともに、価値軸上の質的な差異をもつ物質が混在しており、それらの分布を把握することは簡単ではない。潜在廃棄物の視点からすれば、価値軸の一定範囲ごとの現存量の分布そのものが環境の評価と密接な関係をもつので、現存量の同定が重要な課題となっている。人間生活に用いられている物質は多くのレベルにわたり、素材も品質も一定せず、総じて種類が多いので、指標物質としての性格を有する物質ごとに現存量をもとめうるような調査法を確立しなければならない。化学物質(化合物レベル)の現存量についても、大気、水、土壌のみではなくて、各種の製品や廃物をも対象として化学分析を進めることになる。一方、都市での潜在廃棄物のトータルの現存量に注目するならば、より巨視的な調査が必要である。第4章で詳述する航空写真調査(Aerial photography analysis)は潜在廃棄物の総括的な存在量を相対的価値の範囲ごとに定量化することを目的として、航空写真を撮影し、判読する調査である。そして、総括的な潜在廃棄物を指標とした、その集合としての環境に対する、直接的評価法としての性格もみとめられよう。

潜在廃棄物が顕在化してゆく質的な変化過程は、別の調査によって明らかにされる。質的な変化は、人工的なサイクルにおいては、加工と長期間にわたる供用を経て廃用され、処理されるという具体的な形態をとる。その過程は個々の物質の物理的な特性にもとづきながらも、社会的諸関係によって大きく影響をうけていることは当然で、一般的には生体などの生物的代謝と対照する意味で社会的代謝(social metabolism)とよぶのが妥当であろう。社会的代謝とは社会現象の一つの横断的な側面であるので、社会を対象とする諸科学のそれぞれからのアプローチが平行しておこなわれることが必要であるが、本研究の当面の課題としては代謝の各段階における量的な把握をすすめることがあげられる。社会科学においては、仮説を検証し、あるいは対象の構造を認識する上で、自然科学とは異った方法²⁸⁾がとられており、社会学における社会調査はその代表的な例である。質問紙調査(questionnaire survey)は社会調査の中心的方法であり、潜在廃棄物を対象とした環境調査としても極めて有用である。すなわち、環境調査としての質問紙調査は、指標物質の代謝的側面をあきらかにするために、使用から廃用にいたる過程と廃用されてから環境内で変化する過程に関する情報を質問紙の回答から得るものであるといえる。

環境調査の三方法としての、断面流動調査、航空写真調査、質問紙調査の位置を、水環境に関する従来の調査をも対照として、概念的に示したものが図 2-6 であるが、対象を総括的な潜在廃棄物から細分化するにしたがってさらに別の調査が必要となることは当然である。第 3 章、第 4 章、第 5 章で各調査について

詳しく述べる予定であるが、現段階ですでに、三つの調査について統一的な共通指標を用いることの困難さが予想され、調査自身の制約によるアンバランスがみられる部分ではより妥当な調査法を選択、開発しなければならないであろう。

対 象	従来の関連統計・調査	環 境 調 査
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 地域的流動 $\frac{\partial(Cu)}{\partial x}, Q_y = CV$ </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 輸送統計, OD 調査 鉄鋼流通調査, etc. (参考) 拡散実験 流量調査 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 断面流動調査 </div>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 蓄 積・現 存 $R_1, R_2, \frac{dC}{dt}$ </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 建物統計, 人口統計 植生図, etc. (参考) 水質調査 木質調査 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 航空写真調査 </div>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 質 的 代 謝 $\frac{\partial(Cw)}{\partial x}, Q_3 = KR$ </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 生産統計, 廃棄物発生の実態調査, etc. (参考) 灌漑の分解実験 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 質 問 紙 調 査 </div>

図 2-6 三つの環境調査の関係

2-3-2 計画化の過程としての環境調査

公共土木計画における思考プロセスは、計画の動機づけ — 問題の発見 — 計画の分析 — 計画の決定 — 計画の実施という各段階からなる循環過程であるとされ、計画の形成過程からみると、構想 — 基本計画 — 実施計画という基本段階をもっているとされている。²⁹⁾ 環境計画の内包と外延は十分には明確になっていないが、思考ならびに形成過程の要素は公共土木計画のそれと共通するものが多いであろう。このような立場から都市廃棄物環境の計画をみると、構想の段階にあるということになる。

土木計画においては、土木構造物のほかにしている各種の役割を中核にすえていることは議論の余地がなく、多量の需要にもとづいて土木構造物を建造している背景のもとでは、主たる関心が建設時の諸問題におかれることとなる。ものをつくることとその管理との重点の配分は、対象としている系の技術的側面で見ると技術体系の普及過程の段階によって定まる性格をもち、技術体系が具現化される場合に即物的*な施設が設置される割合によって方向づけられる。対象の主たる構造が定常的になり、その構造を連結している情報を把握して系の内部構造を適切な状態にすることが重要な課題であるという認識がなされることによって、計画における管理の重要性が引きだされる。その典型的な例は上水道計画にみられる。

大気管理計画や水質（水量をも含む）管理計画では大気や水の好ましい状態をつくりだすことが

* すぐ役にたつもの

目的であり、しかも計画の最も重要な内容であって、施設はその一つの手段であるということがさらに明確であるが、このことは対象の特殊性にもとづくものである。環境を対象とする場合には、たとえそれが人工的環境であっても悠長な自然（自然的な環境）と接続しているがゆえに、基本的構造を全面的に造り変えることは不可能であり、そのためにものをつくることが寄与する範囲はかなり限定される。この場合においても、環境施設計画という独自の分野が形成されて、一定の条件のもとでの施設の配置や建設ならびに更新がおこなわれ、そこではものをつくるのがかなりのウエイトをもっている。潜在廃棄物環境の計画にもそのような性格があることは、調査をはじめとする計画の過程で留意されるべきであろう。

潜在廃棄物環境の計画は、2-1 に述べた潜在廃棄物モデルの視点にもとづいて環境の構造を分析し、目的にもとづいた環境の状態を実現する方策を明らかにすることであるが、構想 — 基本計画 — 実施計画の流れを総称する実施計画を具体的に示すという範疇にはない。前述の思考プロセスを環境の計画化（ひとまず、計画的に取扱う部分を増加することとする。）の全体的な過程として考えると、潜在廃棄物環境モデルは計画の動機づけならびに問題の発見の段階を特徴づけている。すなわち、環境を構成している物質が将来に廃棄物になることに留意して環境をみること自体が、廃棄物の普遍性にもとづいて環境の計画化をはかる必要があるという計画の動機づけ、ならびに問題の発見の主たる部分を意味するものである。

三つの環境調査は計画の分析の段階において重要な働きをはたすもので、その目的は潜在廃棄物環境という視点で環境の実態と構造を把握することである。しかし、分析の結果を総合化する過程では、現状の構造を説明するだけでなく、合目的な環境の構造のあり方ならびにそれにむけての変革の手段（主として工学的手段）が、たとえ初歩的な段階であっても、あらかじめされる必要がある。このためには調査自身が一定の目的意識のもとで実施されなければならないので、調査結果にもとづいて計画の内容の決定を課題として展開し、得られた成果をもちいてふたたび調査の目的、対象、手段を検討するという思考プロセスをたどることとなる。しかし、それ以前に、断面流動調査、航空写真調査、質問紙調査を環境調査として実施する最初の段階で、何をどのようにして測定、調査するのかという技術的課題をめぐっての改善が思考プロセスの循環で生じることはない。このように、環境の計画化過程のいくつかの段階から環境調査へのフィードバックが生じるという点からみれば、本論文で取扱う段階の環境調査はその技術的課題からのフィードバックに関する検討をひとまずおえつつある状態にあるといえる。第7章において示す廃棄物の地域配分は環境計画のひとつの具体的内容をもつと考えられるが、この第一段階的な計画の決定内容に由来するフィードバックをもってしても、潜在廃棄物環境の計画化の第一回目の思考的循環がなされずにすぎない。

潜在廃棄物環境を対象として計画的アプローチを進める場合に、対象の特殊性がとくに調査の段

階でどのようにあらわれるのかという点について言及しておく。ひとつは、潜在廃棄物環境という概念のワク組みからみてもあきらかなように、環境を構成する数多い物的な要素を包括して解析をおこなう必要性から、環境調査においても相應の巨視的な手法や測定内容をもつこととなる。断面流動調査における測定値の単位が $t-V$ である*のはその端的な例であり、指標物質 — 指標廃棄物系の設定も対象の複雑さに起因する面がある。小たつには、環境構成物質の廃物化に要する時間が非常に大きいために、調査時間内での測定値の時間スケールに対して独自の考察が必要である。たとえば、断面流動調査の断面流動量はただか1時間オーダーの測定値であるが、流動にともなう蓄積増加量は日オーダーで表現しながらも、実際には蓄積増加量を年オーダーの概念として用いている。航空写真調査によって算定された現存量の差が、新たな環境構成物質のインプットと廃用によるアウトプットの差のフローを意味するのも時間スケールの大きさによるものである。

いずれにせよ、三つの環境調査は計画の構造を構築するためにおこなうのであるから、調査自身が対象の実態の説明にとどまることは望ましくない。主要な要因とその諸関係を把握することによって、ひとまず実体の解析が終了するものであるとしても、計画化を前提とした調査としては不十分であり、一定の目的に沿って計画構造を組み立ててゆくことがなされなければならないであろう。すなわち、主要な要因とその諸関係のなかから、因果論的にみた支配要因と、状態をあらわす指示要因を計画要素としてとりあげ、それらの諸関係に内在する法則性にもとづきながら合目的な計画の構造を決定してゆくことが、環境調査の段階でも留意される必要があるであろう。

* 29 ページと参照のこと

第3章 潜在廃棄物の断面流動調査の研究

3-1 概説

本章では、断面流動調査にもとづいて環境構成物質の地域的流動を検討することが主たる課題である。まず、地域的流動を把握するための断面流動調査の役割と、検討した種々の調査法について述べる。調査の適用性や精度の検討をおこなうことをも含めて、具体的には大きさの異なる三つの地域において実施し、前章でのべた収支式をもちいて物質流動を検討する。地域の大きさ、物質代謝からみた特性と断面流動調査の測定値との関連についても示されるとともに、断面流動調査自身の今後の課題に関しても考察を加える。

3-2-1では、物質流動のなかで自動車輸送のはたしている役割に加えて、その種類別の輸送の実態を示し、断面流動調査があきらかにする潜在廃棄物環境の構造との関係に重点をおいて、調査の意義をのべる。

3-2-2では、断面流動調査の方法について具体的に示し、目測・8ミリカメラ法・ビデオテープレコーダー法などの調査法の比較をおこなう。

3-3-1では、大都市近郊の住宅都市を対象としておこなった断面流動調査の内容を述べ、その結果についての考察をおこなう。すなわち、地域への流入量と流出量の差としての蓄積増加量に関して、供用期間別の廃用を想定し、潜在廃棄物の蓄積量と廃用量の動向を検討する。

3-3-2では、通過交通の少ない小地域での物質流動を基準として、道路面積によって代表される媒体としての地域の特性と、断面流動調査の測定特性ならびに地域の流出入量とから、地域的な物質流動をあらわす指標を設定することを試みる。

3-4-1では、都市域の連続する阪神間地域での断面流動調査とそれにもとづいた潜在廃棄物環境の二、三の解析について総合的な検討をおこなう。まず、潜在廃棄物・完全廃棄物の流動量を概観し、ついで、流動量を有用期間別に分割し、流動物質の価値軸方向の分布を検討する。鉄、耐久消費材、土砂・がれき、化学物質のそれぞれの流動量の地域的分布からも物質の流動特性を明らかにする。

3-4-2では、まず地域を相異なる性格をもつ二つの地区に分割し、それぞれの地区の物質収支を検討する。ついで流動物質中の廃棄物濃度の分布の特徴について考察し、完全廃棄物の集積による環境の悪化が廃棄物濃度の分布から推定されることをのべる。対象地域の沿岸部を7つのブロックに分割して一次元解析を展開し、完全廃棄物と潜在廃棄物の流動量と方向にもとづいて、潜在廃棄物環境の構造解析をおこなう。

3-4-3では、一次元の物質収支式を地域の中と単位時間スケールで差分の形で表示することによって、潜在廃棄物環境の抽象的な移動速度の変化の動向を考察する。

3-4-4では、一次元解析の際に推定された横からの流出現象に対して拡散モデルを提案し、潜在廃棄物環境の拡散現象が地域のスプロールといかに関連するかについて考察を加える。ついで、拡散係数を与えたときの次元解析の可能性について検討する。

3-5-1では、都市が散在する富山平野での断面流動調査とそれにもとづいた環境の解析について述べる。廃棄物濃度が相対的に低い背景について述べるとともに、断面流動調査の15時間連続測定の結果をもとに、流動量の日変動について考察を加える。

3-5-2では、富山平野を7つに分割した地区ごとに、物質流動量と廃棄物濃度について比較をおこない、物質流動からみた地域の特性をあらわす指標との関連を検討する。

3-6-1では、潜在廃棄物の流動に関する調査として、断面流動調査の今後の改善方向について検討する。さらに、潜在廃棄物の流動を把握するための他の調査法についても言及する。

3-6-2では、断面流動調査を実施し結果を考察する過程でおこなわれた潜在廃棄物環境の解析の成果をもとに、さらに計画化をはかるための課題について論及する。

3-2 廃棄物断面流動調査の意義と調査法

3-2-1 廃棄物断面流動調査の意義

廃棄物断面流動調査（以下、断面流動調査と略す。）とは、すでに述べたように、物質の地域的流動を把握するために、道路において流動する種類別の物資、とりわけ廃棄物の量を測定する調査である。道路上を運搬されている物資の主な種類別の割合は表3-1に示すとおりであり、廃棄物のしめる割合は急増し、1973年には約15%を占めるにいたっている。表3-1の値は路線トラックと発

表 3-1 自動車による品目別貨物輸送量

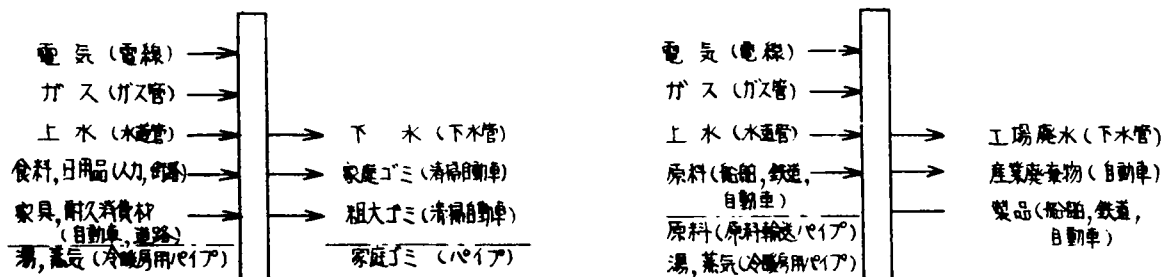
品 目	輸送トン数	輸送トンキロ	品 目	輸送トン数	輸送トンキロ	品 目	輸送トン数	輸送トンキロ
雑 穀	4626	1359	工業用非金属鉱物	133	24	紙、パルプ	40	17
穀 物	60	15	鉄 鉱	182	71	繊維工業品	42	17
野菜、果物	114	36	非鉄金属	28	12	食料工業品	232	96
畜産物	31	14	金属製品	120	43	日用品	95	48
水産物	49	28	機 械	204	116	ゴム製品、木製品*	84	35
木 材	324	102	窯業品	416	108	くずもの	80	20
石 炭	32	4	石油製品	144	50	廃棄物	718	88
金属鉱	26	7	コークス・その他の石炭製品	14	3	その他	262	114
砂利、砂、石材	1057	228	化学工業品	140	62			

* その他の製造工業品を含む

輸送トン数は、 10^6 と、輸送トンキロは 10^8 t-km 単位であり、「陸運統計要覧」による。

着地が明確な貨物自動車による運搬量を示すのみで、小規模な廃物の運搬は含まれていない。環境を構成する物質が資源から加工される過程にそっての輸送機関を考えると、まず資源から加工製品となるまでは船舶が大きな位置をしめて、加工に必要な資材を含めて陸上では鉄道または大型トラックで運搬されることになる。製品の消費地への輸送は、比較的長距離では鉄道が、短距離では貨物自動車が行うが、家庭や事業所への製品の最終的な輸送は貨物自動車によるものが圧倒的に多い。大量輸送の分野では自動車にかわる輸送機関が開発されることは必至であるが、末端の物資輸送は空間的には道路にゆだねられることはかなりの長時間にわたって変わらないであろう。

図3-1は家庭と工場（第二次産業）の物質のインプットとアウトプットを輸送機関別にあらわし。



注) 通信(電信)は省略する。一点鎖線より下は部分的実施、または将来実施。

図 3-1 家庭と工場のインプットとアウトプットの輸送機関

たものである。断面流動調査の測定は、これらのインプットならびにアウトプットのうちで自動車によって運搬される物質を主な対象としている。

断面流動調査によって実測される物質の流動量は比較的短時間の値であるが、3-3以降にのべるように、地域の物質蓄積の動向をはじめとして、潜在廃棄物環境の構造を把握する上で有効な資料を提供する。総流動量を算定する以前においても、そこで観察された完全廃棄物の割合は、都市代謝にもとづくインプットとアウトプットの物質量の関係を示すものとして重要である。この全環境構成物質の流動量のうちで完全廃棄物のしめる割合を流動物質中の廃棄物濃度 (waste concentration in flow materials) と定義し、潜在廃棄物環境の重要な指標として位置づける。

断面流動調査では空間を固定してそこを通過する物質を測定するが、これに対して物質の発着地点においてその起点あるいは行き先を記入させる質問紙調査によっても流動量を把握でき、それぞれに一長一短がある。対象とする空間が小さく、そのなかの生産単位あるいは消費単位に対して悉皆調査が可能であるか、もしくは空間内から代表的な単位を選出できる場合には後者が有利である。他方、空間がかなり広い場合、通過する場所を問題とする場合、あるいはそれぞれの空間的位置の流動量を検討する場合には断面流動調査の方がより有効である。

これまでにこなわれてきた交通調査に対する断面流動調査の差異を示すことによって、その特徴はより明らかになる。断面流動調査においては、

- (i) OD (発着地点) はあまり必要ではなく、把握も一般には困難である、
- (ii) 走行速度や時間最大交通量はあまり必要ではない、
- (iii) 走行方向が必要である、
- (iv) 積荷の種類、特に廃棄物を把握する必要がある、
- (v) 積荷の体積の把握が必要である、

などの点について留意しなければならない。

3-2-2 断面流動調査の実施法

対象地域の境界にある主要な道路断面、内部の主要な交差点、物質代謝上で大きな役割をはたす施設 (たとえばゴミ焼却場) に通じる道路上の地点を測定地点として選び、一定時間の間に通過する貨物自動車に注目する。表3-2に示すような測定表に、貨物自動車の台数、載荷貨物の量と種類を記入する。載荷貨物の量の単位は $t-V$ (ton-Volume) で、 $1 t-V$ とは1トン貨

表 3-2 廃棄物断面流動調査の測定表

場所名	方面	測定時間	測定者	備考		
十三大橋 22	大阪	13:00~15	盛岡	700224		
物質名	新旧	載荷可能 トン数	載荷割合	備考	乗用車 台数	無載 貨物車
木材 (角材)	○	4.0	1.2		正	正
工建用器具 (鉄)	△	2.0	0.5		正	正
菓子 (ダンボール)	○	1.5	3.0		正	正
洗濯機	×	0.5	1.0		正	正
紙袋セメント	○	6.0	1.2		正	丁
か、こ ん	○	2.0	1.2		正	
		1.0				

注) 「新旧」の欄において、○印は新品、△印は中古品、×印は廃品である。右欄はそれぞれの台数を記入する。

測定時間は1回 15~30 分で2回測定を基準とするが、朝、昼、夕方の3回の実測ができれば、かなり信頼できる値が得られる。調査員が十分に確保できれば、すべての断面でほぼ同じ時刻に測定することも可能であるが、少ない場合には順々に測定点を移動することとなる。なお、載荷自動車台数が 20~30 台を下まわると誤差が相当大きくなるので、測定時間を延長しなければならない。

目 次	8 ミ リ カ メ ラ	ビ デ オ テー プ レ コー ダ ー
<p>荷物の種類の判別が確実で、変器に入っているものも商品名から推定することもできる。測定時は繁雑であるが、最終的整理は容易である。交通費が少量あるいは高速の場合は記録が困難である。</p>	<p>簡便にカラー画像が得られるが、再生時には目刺の際と同じ手続きをくりがえすことになる。記録容量は小さいが、野外調査には便利で、テープレコーダーを併用することにより正確に判読できる。</p>	<p>高速で走行している場合でもスローピクオ再生によって判読できる。道路から離れて測定をおこなわねばなりぬ場合でも望遠レンズを用いると便利である。撮影時の音声も有効であるが、機器が嵩重で、携帯は可能だが若干重い。</p>

測定は目測のほか、8ミリカメラやビデオテープレコーダーを用いたが、交通量の多い地点ではスローモーションビデオ画像として再生して判読する方法が有効であった。表3-3は3つの測定法を簡単に比較したものである。いずれの場合にも表3-2に示す測定

30

表を作成し、ついで測定地点の各方向ごとに積荷の種類、推定有用期間ごとに合算して、表 3-4 に示す整理表を作成して解析に供する。

測定時間が同一ではないので、測定値を単位時間あたりの量（たとえば、1 日量）に換算する必要がある。その方法には、測定時間と 24 時間との比で換算する方法、測定自動車交通量と 1 日交通量との比で換算する方法、測定貨物自動車台数と 1 日貨物自動車台数との比で換算する方法などがある。実測時が一日の時間帯に占める位置の差異を考慮した換算が望ましいが、三つの方法のなかでは貨物自動車台数の比で換算するのが適切であると考えられる。

3-3 中小都市における物質流動の検討

3-3-1 中小都市における断面流動調査³⁰⁾

調査の対象とした都市は大阪府下の松原市である。市域面積は約 17 km²，調査時点(1968年)での人口は約 8 万人であり，大阪市などへの通勤者の住宅都市として急激な人口増加がみられていた。図 3-2 は対象地域を示すが，大阪中央環状線が開通していない時であるので，主要道路幹線においても交通量は少なく，府道「堺 - 大和高田線」の交通量が目立つ程度であった。道路交通量は，道路の状態を的確に表現するためにも，方向別の経時変化として把握されていることが望ましいが，断面流動調査の実施地点の近くの交通量が不明であったり，二方向の合計値で示されていることは少なくない。本地域の場合にも一部で往復交通量が把握されていたにすぎないが，OD 調査の結果より通過交通量の割合も図 3-2 に併記しておいた。

3-2-2 で述べた方法に準拠し，市域境界の 12 地点で通過する貨物自動車の台数，荷物の種類と量を調査用紙に記入した。測定時間は 20 分間で 2 回測定としたが，各地点での測定時刻による差異の補正はおこなわなかった。測定地点における地域への流入，流出量を 1 日量に換算したところ，総流入量 27,106 t-V/日，総流出量 27,101 t-V/日という値(図 3-4 参照)が得られた。ただし，実測流動量を測定時間と 24 時間との比で換算しており，さらに図 3-2 に示した非通過率(対象地点の交通量のうちで，地域内部に起点あるいは終点をもつ交通量の占める割合)を乗じてある。1 日流動量への換算には測定時間内の貨物自動車の通過台数と 1 日貨物自動車台数との比率を用いることが現状では最も妥当と思われるが，貨物自動車の 1 日交通量があきらかでなかったのので，このような方法を用いた。

式 (2-6) によって潜在廃棄物の蓄積増加量は計算されるが，その値はほとんどゼロに近い。調査原表を物質種類別に，あるいは有用期間別に集計し，全域の流入，流出量の差を示したのが表 3-5 である。目測による荷物の確認では詳細な種類わけは困難であり，表 3-5 の耐久消費材，鉄，木材などの分類は，代表的物質であるということと，確認の便宜上という点からおこなった。有用期間は耐用期間の概略的な推定値である。

* 松原市総合計画(京大交通土木 佐々木研究室作成の OD トリップ表)

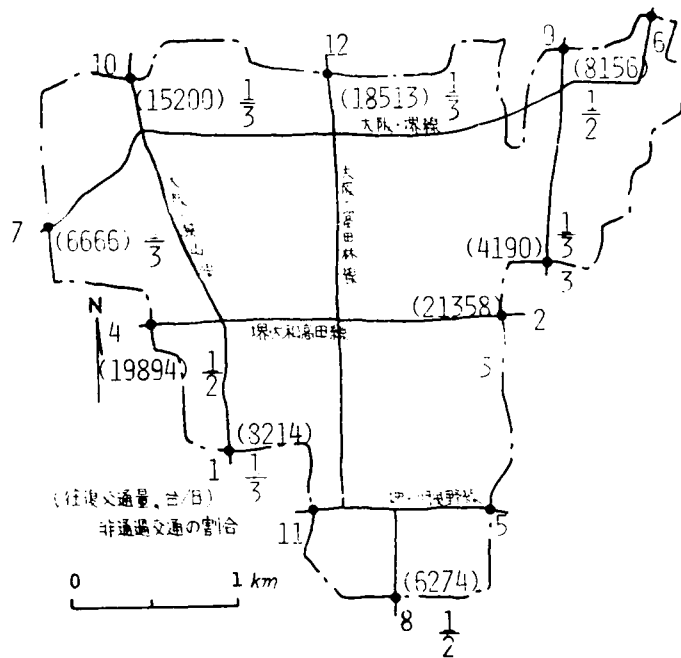


図 3-2 対象地域の交通量と調査地点

表3-5 地域内外の潜在廃棄物の流出入

(1970)

品 目	流入量	流出量	蓄積増加量	有用期間	流入量	流出量	蓄積増加量
土 砂	4,584	4,295	+ 289	1~2 日	298	285	
耐久消費材	732	748	- 16	1~2 週	367	370	
木材製品	2,941	2,826	+ 115	1~2 月	2,092	2,354	
セメント	1,014	1,852	+ 841	1~2 年	1,152	2,296	
金属製品	7,114	6,099	+ 1,015	5~6 年	3,478	5,040	
ガラス製品	1,887	3,057	- 1,170	10~20 年	10,670	9,531	
紙 製 品	1,794	795	+ 999	不 明	6,352	3,867	
そ の 他	7,043	7,429	- 386	潜在廃棄物合計	25,726	25,635	+ 91
合 計	27,106	27,101	+ 5	完全廃棄物	1,380	1,466	- 86

注) 完全廃棄物の流入、流出とも含む。各有用期間の間に位置する測定値も、より妥当な値に加算した。
単位 (t-V/B)

いま、閉区域への実質への実質的な流入量が有用期間 ω の関数として与えられているとすると、物質循環の流れに沿った収支式はあらためて次のように表現される。

$$I'_s(\omega, t) - O'_s(\omega, t) = \frac{dR'(\omega, t)}{dt} \quad (3-1)$$

ここに、 $I'_s(\omega, t)$ 、 $O'_s(\omega, t)$ は有用期間が ω である物質の単位時間あたりの供用開始量と廃用量を意味し、 $R'(\omega, t)$ は有用期間が ω である物質（供用開始後の経過時間ではない。）の蓄積現存量を意味する。それゆえに、

$$\int_0^{\omega_{\max}} I'_s(\omega, t) d\omega = I_s(t), \quad \int_0^{\omega_{\max}} O'_s(\omega, t) d\omega = O_s(t), \quad \int_0^{\omega_{\max}} R'(\omega, t) d\omega = R(t) \quad (3-2)$$

である。

対象地域は新興住宅地としての性格が強く、流動物質中の廃棄物濃度は平均して 7.8% 程度で完全廃棄物は比較的に少なく、境界での流入、流出量の厳密な測定値の差がほぼ $I'_s(\omega, t)$ であり、 $dR'(\omega, t)/dt$ にも近似している。調査時の観察によれば、大阪市や堺市に接する境界ではガレキや木くずなどの建築廃材が地域内に搬入されているが、地域外からの影響だけによるとは考えられないほど多量の廃棄物が地域内に投棄されており、上式の $O'_s(\omega, t)$ が式(2-20)の右辺第 2 項に転化して顕在廃棄物として環境内に残留しているものと考えられる。

もし、きわめて単純な場合を想定して、有用期間ごとの流入量の相対的割合が不変で、年率 θ で地域への実質的流入量が増加するものとする、廃棄物発生量の理論値は次のように表現される。

$$O_s(t) = \int_0^{\omega_{\max}} O'_s(\omega, t) d\omega = \int_0^{\omega_{\max}} (1 + \theta \cdot (t - t_0 - \omega)) \cdot I'_s(\omega, t_0) d\omega \quad (3-3)$$

ここに、 t_0 は基準年で、1年に θ の割合で $I'_s(\omega, t)$ が増加するものと仮定しており、 ω_{\max} は最

大有用期間を意味する。式(3-3)の右辺を部分積分すると、

$$O_s(t) = (1 + \theta \cdot (t - t_0 - \omega_{\max})) \cdot I_s(t_0) + \theta \cdot \int_0^{\omega_{\max}} \int I'_s(\omega, t_0) d\omega d\omega \quad (3-4)$$

となる。基準年での廃棄物発生量に対して、さらに基準年での新製品流入量に相応する量を加えた量が廃物化する時期は、上式をもちいて、 $(1/\theta)$ 年後であると判断でき、その値は有用期間別の流入量分布には関係しない。同様に蓄積現存量の全量は次のように表現される。

$$\begin{aligned} R(t) &= \int_0^{\omega_{\max}} R'(\omega, t) d\omega = \int_{t_0}^t \int_0^{\omega_{\max}} \left(\frac{dR'(\omega, t)}{dt} \right) d\omega dt + R(t_0) \\ &= \int_{t_0}^t (I_s(t) - O_s(t)) dt + R(t_0) \\ &= \int_{t_0}^t \theta \cdot (\omega_{\max} \cdot I_s(t_0) - \int_0^{\omega_{\max}} (\int I'_s(\omega, t_0) d\omega) d\omega) dt + R(t_0) \\ &= (t - t_0) \cdot \theta \cdot (\omega_{\max} \cdot I_s(t_0) - \varphi_2(t_0)) + R(t_0) \end{aligned} \quad (3-5)$$

ここに、 $\varphi_2(t_0)$ は t_0 年における地域への実質流入量(有用期間 ω に関する分布量としている。)の ω に関する2重の積分値を意味し、同じ前提条件のもとで、現存量も一定の割合で増加してゆくことになる。

そこで、一般に $\eta(t)$ なる指標を、

$$\eta(t) = \varphi_0(t) \cdot \varphi_1(t) - \varphi_2(t) \quad (3-6)$$

$$\varphi_0(t) = \int_0^{\omega_{\max}} d\omega = \omega_{\max} \quad (3-7)$$

$$\varphi_1(t) = \int_0^{\omega_{\max}} I_s(\omega, t) d\omega = I_s(t) \quad (3-8)$$

$$\varphi_2(t) = \int_0^{\omega_{\max}} \int I_s(\omega, t) d\omega d\omega \quad (3-9)$$

のように定義すると、 $\eta(t)$ は潜在廃棄物環境の現存量の傾向を把握する重要因子であり、とくに、有用期間の範囲ごとの実質的流入量の相対的割合が不変で全流入量が線型的变化を示す場合には、蓄積増加量の流入増加量に対する比に相当する。

表3-5の推定耐用年数ごとの蓄積増加量を供用時間の単位期間(1年)ごとの値に変換して示したのが図3-3である。これから断面流動調査の実施時点における $\varphi_0(t)$ 、 $\varphi_1(t)$ 、 $\varphi_2(t)$ として

30年、91(t-V)、1783(t-V)・(年)程度の値*が得られる。ただし、表3-5に示されているように供用期間 ω ごとに個別に収支をとると流入量 $I_s(\omega, t)$ の推定値にマイナスの部分が生じるので、完全廃棄物を除いた収支による蓄積増加量に対して、流入、流出量の供用期間別の割合の平均値を乗じている。図3-3には比較のためにいくつかの規格的な分布を与え、

* 最大有用期間の30年は推定値である。 $\int_0^{\omega_{\max}} (I_{IN}(\omega, t_0) - I_{OUT}(\omega, t_0)) d\omega = 91(t-V)/日$
 $\int_0^{\omega_{\max}} (I_{IN} - I_{OUT}) d\omega = \int_0^{\omega_{\max}} \int (I_{IN}(\omega, t_0) - I_{OUT}(\omega, t_0)) d\omega d\omega = 1783(t-V) \cdot (年)/日$

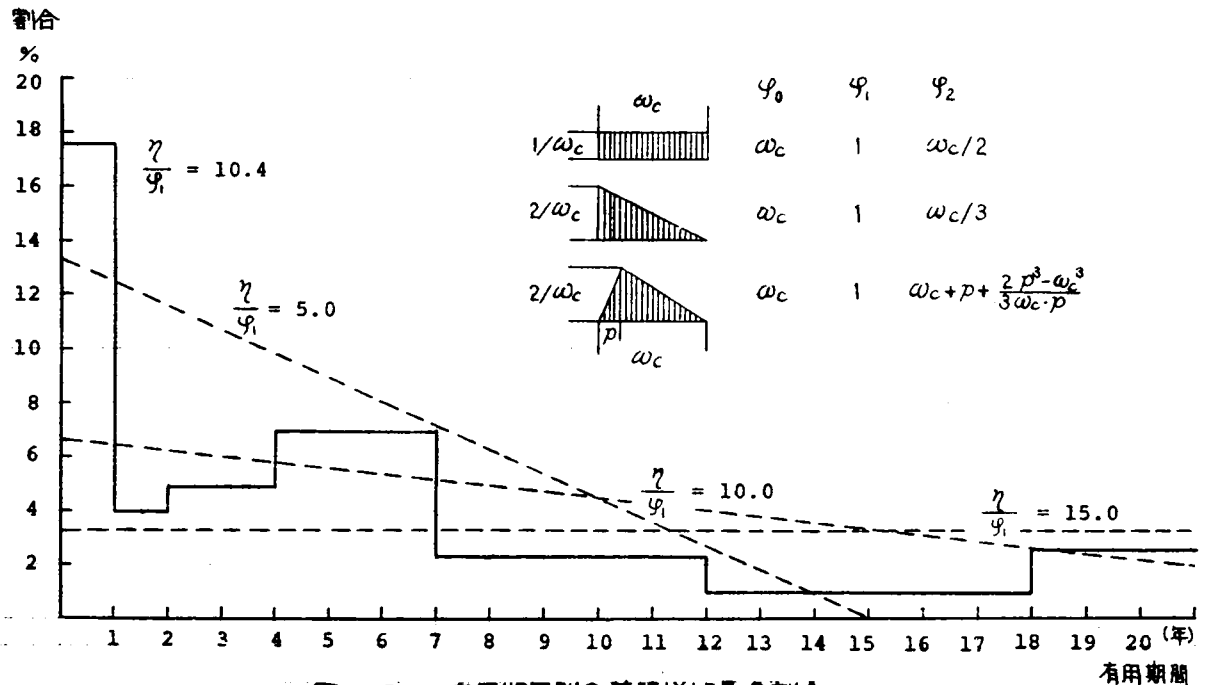


図 3-3 有用期間別の蓄積増加量の割合

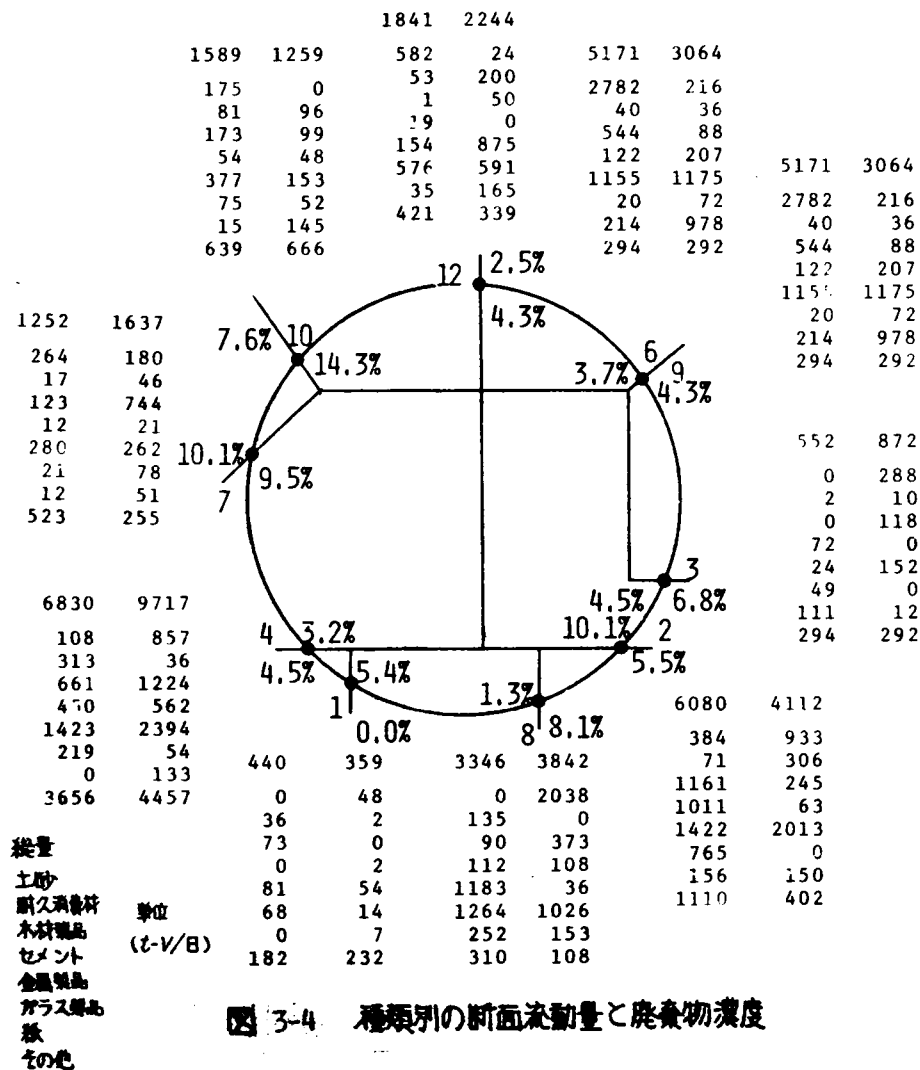
$$\frac{\eta(t)}{\varphi_1(t)} = \varphi_0(t) - \frac{\varphi_2(t)}{\varphi_1(t)} \quad (3-10)$$

の値を添えておいた。式(3-6)あるいは式(3-10)は地域の物質蓄積の動向を示す点で重要であり、とくに後者は実質流入量の増加が蓄積増加量に転化する形式的割合を示している。 $\varphi_2(t)$ の値に対する寄与は、長い有用期間をもつ潜在廃棄物の方が大きいので、図3-3の場合にも $\omega \geq 18$ の部分の割合の信頼度が高くないと不正確な $\eta(t)$ の値を導いている危険性がある。一般には、 $R(t_0)$ が十分に大きいならば、 $\eta(t) \geq \varphi_1(t) = I_s(t)$ となることもあるが、実質的な蓄積増加量に注目すれば不思議なことではない。

蓄積量の動向や代謝については第4, 5章において詳述するので、ここでは深く追究しないこととするが、以上の定式化に関して留意しておかねばならぬ二つの点にふれておく。ひとつは式(3-4)をはじめとして、 $\omega_s(t)$, $I_s(t)$, $R(t)$ のいずれもが非負であるような時間的領域でのみ成立し、蓄積の初期の非定常状態に対しては直接には適用できないことである。さらに、有用期間別の流入量の分布割合が時間的に変化する場合には、同じ材質でのちに流入した方が先に廃用されると

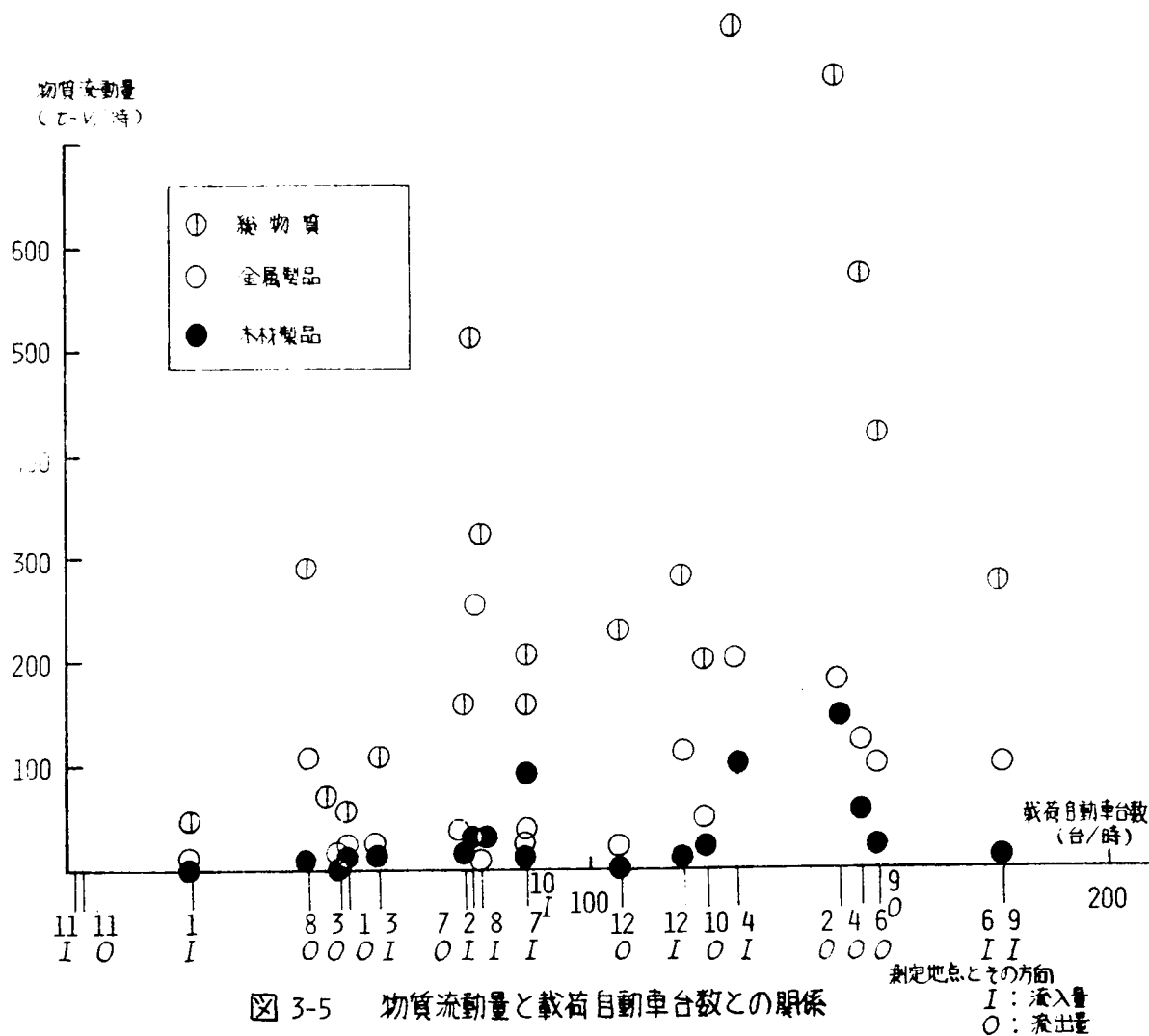
という事態も生じることが予想され、複雑な取扱いを必要とする。この場合でも陽的な数理モデルの表現はできるだけ簡素化し、細部はパラメータで修正することによって、計画上の操作が容易になるようなアプローチをとるべきであろう。のちに図5-14に示すように、蓄積・代謝の時間的な推移はシミュレーションによって追跡することが可能で、有用期間別の割合が変化することを組み入れて実験することは、それほど困難ではない。

ついで、流動量のきわめて少なかった地点 5,11 を無視し、測定地点が接近している地点 6,9 をまとめて、それぞれの流動量を種類別に示したのが図3-4である。地点4に代表的にあらわれているように、包装などによる品目不明のものがかなり多い。総量では地点 4, 2 の流動量が多い。量的に目立つのは、地点8の土砂の流入、地点 6,9 の土砂の流出、地点 4,2 の金属製品の流出、



流入である。土砂や木材製品では同一地点の方向による流動量の差異は大きく、金属製品やガラス製品（このうちには飲料ビンがかなり含まれている。）のそれは比較的小さい。全般的に方向による流動量の差が大きくなることは住宅地域においては当然であるが、それらの間に、生産地から消費地の輸送の発点から消費地にむかう流れのような規則性が見いだされないことは、調査の時間的規模も影響しているものと考えられる。流動物質中の廃棄物濃度は地点 7, 10 において 10% 前後の値をとるものの、より郊外に位置しているその他の地点では大部分が 5% 程度の値を示している。

各地点の木材製品、金属製品ならびにすべての物質の流動量と載荷自動車台数の実測値との関係を示したのが図 3-5 である。載荷自動車台数の増加にともない、それぞれの流動量も増加しているが、その傾向がもっとも顕著な総物質に関しては線形関係というにはほど遠い。測定地点 2, 4 を結ぶ道路は対象地域ならびにその東に接属する地域の幹線となっていて、大型トラックの走行が目立っていたが、そのことが図 3-5 に反映されている。



3-3-2 通過物流の少ない開地域での物質流動

断面流動調査においては、対象としている調査地域以外への運輸のために地域内を通過する量も計測値として計上されている。そのために、対象地域よりもはるかに広域のレベルにおける幹線道路が貫通している場合には、地域内部への実質的搬入量や内部からの実質的搬出量を意味のある値として断面集計値から取り出すことは非常に困難となり、その後の解析にも工夫を要する。これに対して、比較的開けた地域においては、道路断面を通過する潜在廃棄物自身の流れが方向性を強くもつ傾向があるので、短時間で有意な測定がおこなえる。一方、地域の面積や道路総延長と測点数との関係は、断面流動調査にともなう解析の方向に大きな影響を与える。そこで、住宅地域である小さい都市レベルの空間での調査と解析を通じて得た、物質流動からみた地域特性と断面流動調査との関係の定式化の結果について述べることにする。

地域の面積を A 、断面流動調査の測定地点を端点、中間点にもつ道路の延長を $\sum \ell$ とするとき、

$$b = A / \sum \ell \quad (3-11)$$

で示される b を面積・道路延長比とよび、*断面流動量が測定されている道路の単位長さあたりの地域面積を意味する。また、断面流動調査の測定地点の数で関与している道路総延長を割った商を道路延長・測点比と称して、 $L_u (= \sum \ell / \text{測点数})$ で表わすことにすれば、

$$A_u = 1 / L_u \quad (3-12)$$

は単一の測定地点の形式的影響範囲を意味する。さらに対象地域の流入・流出を考慮して次のような指標を考える。式(2-6)に示す地域の総流入量と総流出量の大きい方に対して、

$$\nu = \left(\frac{dR}{dt} \right) / \{ \max(I_c, O_c) \} = |I_c - O_c| / \max(I_c, O_c) \quad (3-13)$$

を定義すると、 ν は地域境界を通過した物量のうちの地域内の蓄積に影響を与えたものの割合を意味するので、蓄積関与率と称することとする。また、蓄積量の増減に直接に寄与する物質が対象としている主要な道路から浸透する速度 U は、

$$U = |I_c - O_c| / \sum \ell \quad (3-14)$$

で計算され、この単位はたとえば $t-V/(km \cdot \text{日})$ のようである。

図3-6のように外部と二か所で接続する、比較的開けた地域を対象として物質流動を検討する。断面1より進入して断面2より流出する物質量を $Q_{p,1}$ 、逆に断面流動量を $Q_{p,2}$ とするとき、式(2-6)は成立し、式(2-6)の I_c 、 O_c には $(Q_{p,1} + Q_{p,2})$ の値がいずれも含まれる。ここで、

* 通常 b の逆数を道路(面積)率と称する。

断面1,2の両方ともを通過する完全廃棄物の流れは無視できるものとすれば、地域内の活動によって生みだされた廃棄物の流動にともなう各断面での廃棄物濃度 ρ は、 $Q_{p,1}$ もしくは $Q_{p,2}$ によって希釈されることになる。成長期にある開地域でそうであるように、2つの断面とも地域内に発着点をもつ流動については流入が流出を上まわるものとすれば、 μ の値は I_c に対する $(Q_{p,1} + Q_{p,2})$ のしめる割合にともなうて変化する。図3-7は、地域内に発着点をもつ流入量 I_c' 、 O_c' のみに対し

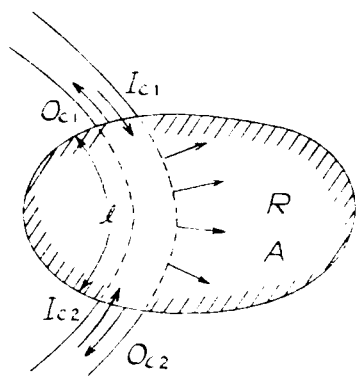


図 3-6 比較的閉じた地域での物質流動

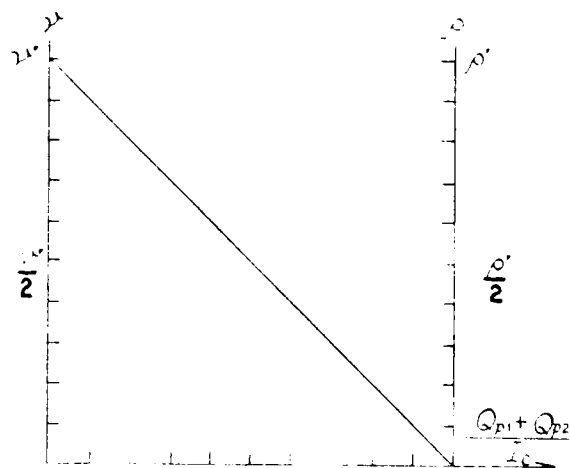


図 3-7 蓄積関与率ならびに廃棄物濃度に対する通過流動の影響

する蓄積関与率,

$$\mu' = |I_c' - O_c'| / \max(I_c', O_c') \quad (3-13)$$

を基準として μ の変化を示したものである。発着点の廃棄物濃の平均値も通過物量の増加に対して、通過量がないときの値 μ' と比較して同じ傾向をもつ変化を示している。

断面が3つ以上の場合においても、通過流動に関するかぎりは流入量合計と流出量合計は一致するので、 $(Q_{p,1} + Q_{p,2})$ のかわりに $\sum_i Q_{p,i}$ を採用すれば μ に対する通過流動の影響は同様に表現されるが、廃棄物濃度の平均値はすこし異なった傾向をみせる。通常、 B_i/A_i の平均値は標本数と n とすると、 $\sum_i B_i/A_i / n$ であらわされるが、 $\sum_i B_i / \sum_i A_i$ が有効である場合も少なくなく、後者の意味で ρ の平均値を考える。2断面の場合と同様であることは言うまでもない。

断面流動調査によって測定された同一地点の方向別の流動量の差は地域境界に沿って積分されることによって蓄積現存量の増加量となる。しかし、個々の断面での流入量と流出量の共通部分(2つの量の少ない値)を合算しても通過流動量を意味するのではなく、流入、流出のそれぞれについての和の共通部分の一部が通過流動に対応している。

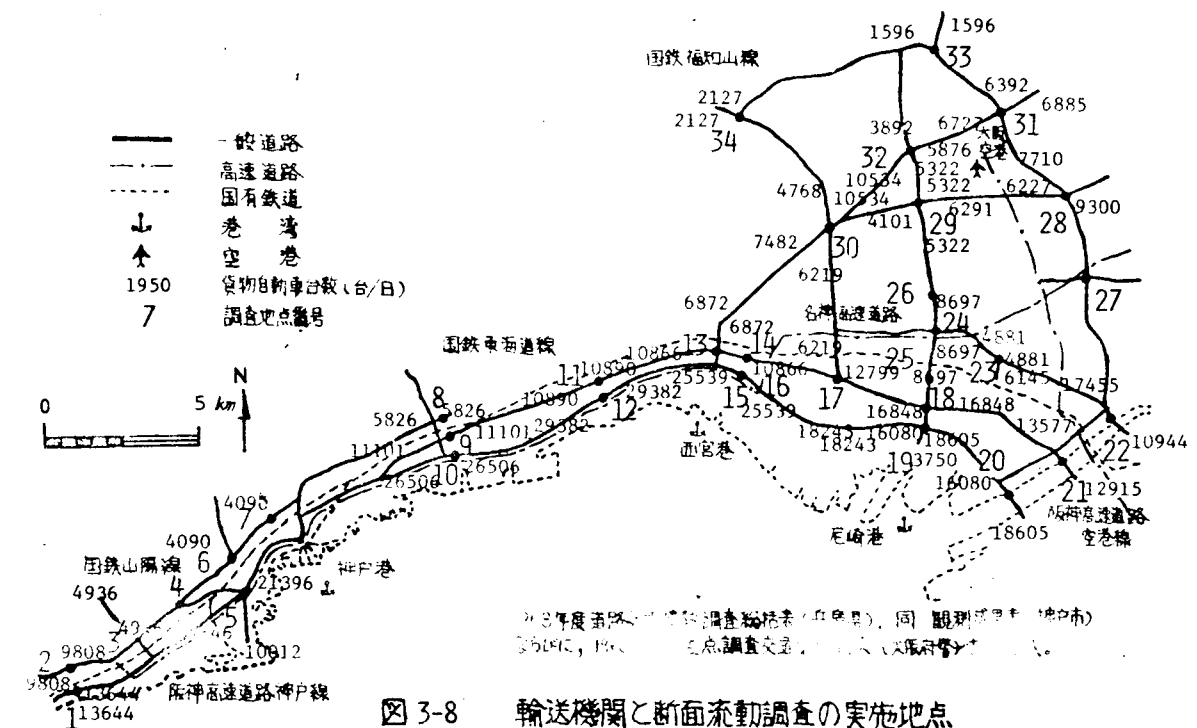
以上の指標の意味をさらに具体的に把握するために、松原市域でのそれらの値をもとめてみることにする。 $A = 17 \text{ km}^2$, $\sum \ell = 21 \text{ km}$, 測定数=12であるから、 $b = 0.81 \text{ km}$, $L_u = 1.75 \text{ km}$ とな

る。さらに、表3-5の完全廃棄物を除く流動量から $I_c = 25,726 \text{ t-V/日}$, $O_c = 25,635 \text{ t-V/日}$ であるから、 $\mu = 0.35\%$, $U = 4.17 \text{ t-V/(km} \cdot \text{日)}$ と算定される。しかし、はじめに述べたように、 I_c , O_c の値はC口調査の結果をもとに通過流動量の推定値を一率に差した値であるので、この μ の値は図3-7の縦軸の中間的な位置にあるものと考えられる。いずれにせよ、 μ/μ' の値を知るには一般的には通過流動を除いた場合の I_c と O_c との比の値の概略値を把握することが必要である。

3-4 都市連続地域における物質流動の検討

3-4-1 阪神地域での断面流動調査^{31), 24)}

阪神地域は大阪、神戸の2大都市にはさまれ、臨海部には工場が立地し、背後に住宅地域が広がっている。図3-8は対象地域の各種交通・輸送機関を示すが、神戸の市街地である西部地区では東西方向の交通が圧倒的に卓越しているのに対して、東部地区は扇状平野を形成し、南北方向の交通も重要な位置を占めている。この地域を対象としたのは、二つの異なる市街地の発展形態が隣接してみられ、先に示した基礎方程式を具体的に適用するための式の変形を検討するのに都合がよいからである。



断面流動調査の際には、目測とビデオカメラによる測定を併用し、実測値をもとに所定の測定表と整理表を作成した。測定は15分間2回を基本としたが、交通量の少ないところでは片道の荷物積載車の台数が1回に満たない場合と越えるまで延長した。1日流動量は、実測値に対して、貨物自動車1日交通量の実測貨物自動車台数に対する比の値を乗じることによって算定した。

種類を無視して、トータル量である総物質の流動量を示したのが図3-9にある。工業地帯の物資輸送を担っている幹線道路では、日量が数万 $t-V$ もの流動量がみられ、巨大な物流を形成している。実測をおこなった道路は、神戸市内（西部地区）の一部をのぞき、いずれも市または区の間交通・輸送をつかさどっている面が強いが、臨海部の産業道路をのぞくと、片方向で5000~20000 $t-V/日$ の範囲にある地点が多い。完全廃棄物についてみると、この地域の都市間道路では1000 $t-V/日$ 前後の流動量を通常は示すが、臨海部の国道43号線では数千 $t-V/日$ という大きな値を

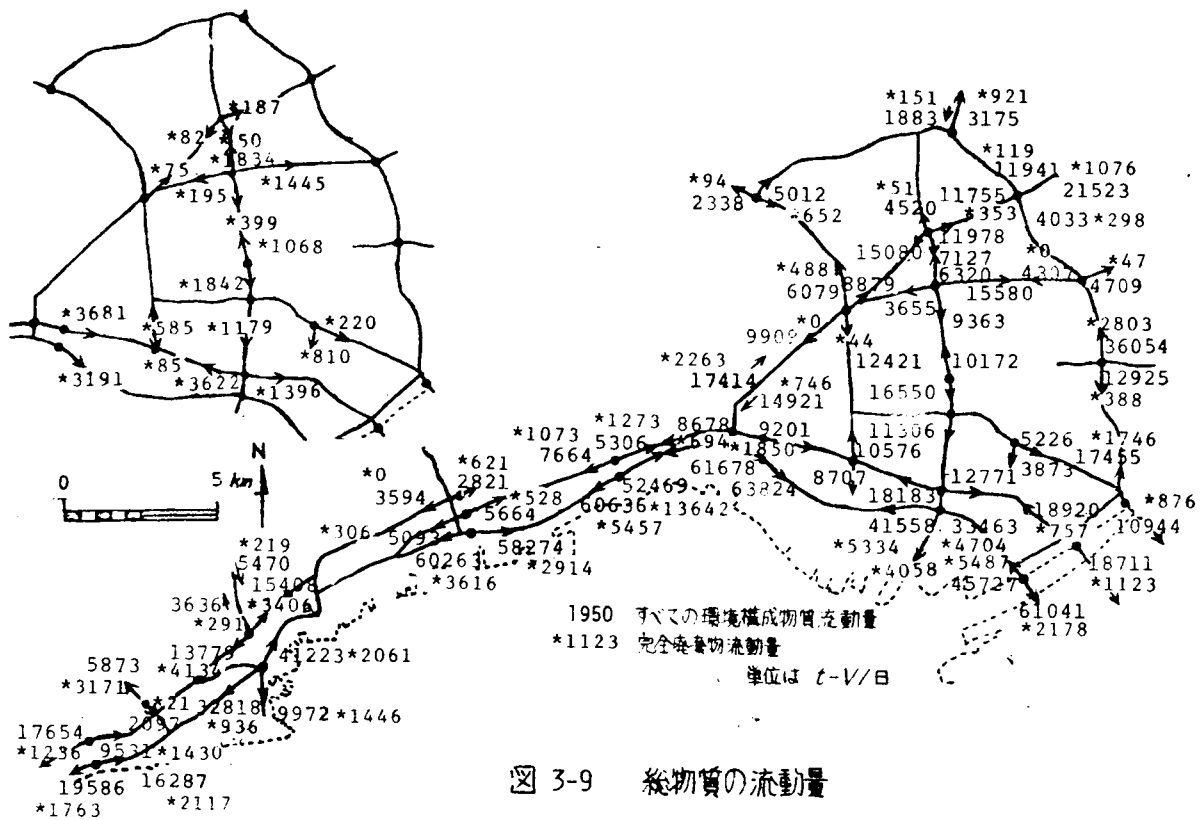


図 3-9 縦物質の流動量

示し、後背部の住宅地域での全流動量に匹敵している。しかし、全体としては完全廃棄物の流動量の偏差は全環境構成物質の流動量の偏差よりも小さいことは注意しておくべきであろう。

ついて、流動量を有用期間別に分割し、それぞれの割合をもとめる。有用期間とは対象としている物質が生産（製造）されてから完全廃棄物化するまでの期間を意味するが、実際の廃用はこの有用期間の前後一定の時間枠の中をもっておこなわれる。ひとまず、有用期間の種類を、1~2日、1~2週、1~2月、1~2年、5~6年、10~20年の6種類とし、これに完全廃棄物、中古品を加えた8つのクラスのいずれかに流動物質をわけた。断面流動調査による荷物の種類の確認を前提としているので、むしろに分類を詳細にすることは無意味であり、内容が不明の荷物をのぞいて、より妥当と

表 3-6 有用期間別の流動量の割合

指定地点 方向 有用期間	1E	1W	1E	6E	14E	14W	15E	15W	29S	29N	27S	27N	20E	20W
完全廃棄物	13.3	9.0	21.3	30.0	40.5	7.8	5.0	3.0	4.3	29.0	2.5	7.8	3.8	12.4
中古品	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	4.2	1.4	2.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	1.2
1~2日	2.0	3.1	11.9	3.3	0.0	0.0	0.2	0.9	1.5	0.0	0.0	6.3	0.0	0.6
1~2週	1.4	0.5	19.8	8.3	2.8	3.3	3.6	1.3	0.7	2.8	0.0	3.9	0.0	0.0
1~2月	7.8	6.6	9.8	10.5	12.7	14.6	7.4	4.1	10.2	16.5	4.4	10.0	55.4	7.4
1~2年	14.1	14.4	4.9	14.2	19.0	23.4	14.4	23.5	25.4	6.8	24.9	24.9	41.9	15.4
5~6年	8.9	10.3	6.2	8.7	9.9	15.9	12.6	23.7	19.0	32.6	40.7	25.0	3.6	15.5
10~20年	10.9	14.7	3.8	18.3	0.0	30.9	11.1	13.8	20.3	5.8	10.1	12.9	10.1	25.1

注) Eは東, Wは西, Sは南, Nは北の各方向を意味する。単位 %

考えられるクラスを選択した。理論的には、流動物質の残存する効用期間とその物質が元来もっていた有用期間で割って求められた商の値が、廃棄物の価値軸の値と対応していることはすでに2-3-1で述べた。

表3-6には7地点の有用期間別割合を示したが、これらの地点の流動物質に関して価値軸（x軸）方向の分布量として流動量を想定したとしても、新製品面ならぬに完全廃棄物面に沿う薄い層状の部分に流動量集中しており、中古品をさらに分割する必要はないだろう。なお、おのおのの有用期間率にわりつけられる品目の例としては、「1-2日」には牛乳などの食品、「1-2週」には卵などの食品、「1-2月」には醤油などの食品や折り紙などの日用品、「1-2年」には工業用原料やビン類、「5-6年」には耐久消費材や板材、機械器具、「10-20年」には重機械、コンクリート製品、鋼材、角材などがある。表3-6において合計が100%にならないのは、荷物の種類が「不明」である部分がいかにあるからである。いずれの地点においても、この「不明」の分を引いた残りの30%以上は有用期間が1年を超える物質であり、この割合が70%に近い地点もある。有用期間が1-2日、1-2週の物質は食料品や使いすての日用品であるが、あわせると約10%程度の割合を示す。地域別にみると、都市内部の生活道路としての性格の強い地点ではその割合が高くなっている。逆に工業地域の幹線道路では、10-20年という長期の有用期間をもつ物質の流動が目だっている。

物質流動の結果として、流出入の差だけの形式的な蓄積がみられる。環境構成物質の蓄積という面での寄与は長期の有用期間をもつ物質の方が大きい。しかも、物質代謝の分類(5-3-1)においてみられるように、短期の有用期間をもつエネルギー的な代謝物質の現存量、代謝量は、長期の有用期間をもつ構造的な物質のそれらの値に一定の乗数に乗じることによって、その概略を把握できるので、地域に物質現存量の経年変化を検討する上で長期の有用期間をもつ物質の流動に基礎をおくことが妥当であろう。

つぎに、種類別の物質の流動特性について検討をおこなう。鉄鋼・鉄製品の流動量を図3-10に示すが、総物質の流動量に対して1/10~1/4程度の量を占めている。工場地域でその割合が高くなっているものの、全体としては同じ傾向を示しており、重要な指標物質の一つである鉄は総物質の流動を基本的な特徴づけているといえよう。流動中の総物質の廃棄物濃度については後述するが、鉄の廃棄物濃度をそれと比較すると、住宅地域において相対的に低い傾向がみられる。このことは、家庭からの鉄を含む廃棄物のかなりの部分を混合製品として「耐久消費材」や「不明」に配属させたことにも起因しているだろう。逆に工場地域では、鉄の方が総物質よりも高い廃棄物濃度を示すところから、次のような推測がなされる。すなわち、生産過程での廃物化の速度が道路上の廃棄物濃度に影響をあらわすのは都市活動の投入産出関係が非定常のときに限られるが、鉄の地域への投

* 潜在廃棄物が顕在化して道路上の廃棄物となる際にはいくつかの関連因子があるが、もし、一定量の資材の投入によってある時間後に廃物が投入量に対応した量だけ発生するという形に投入産出関係を固定し、資材投入量の時間的変化と廃物化の速度を変数とすると、次のようになる。資材投入量が増加すれば、同じ廃物化速度に対して道路上の廃棄物濃度は低くなり、一方、資材投入量が増加傾向として、廃物化速度を変化させると、急に増加するほど道路上の廃棄物濃度は高くなる。

入量ののびが総物質に比較してはるかに小さいという事実はみとめられないので、生産過程に由来する鉄の廃棄物が総物質の廃物よりも輸送（自動車輸送）される割合が多いのであろう。

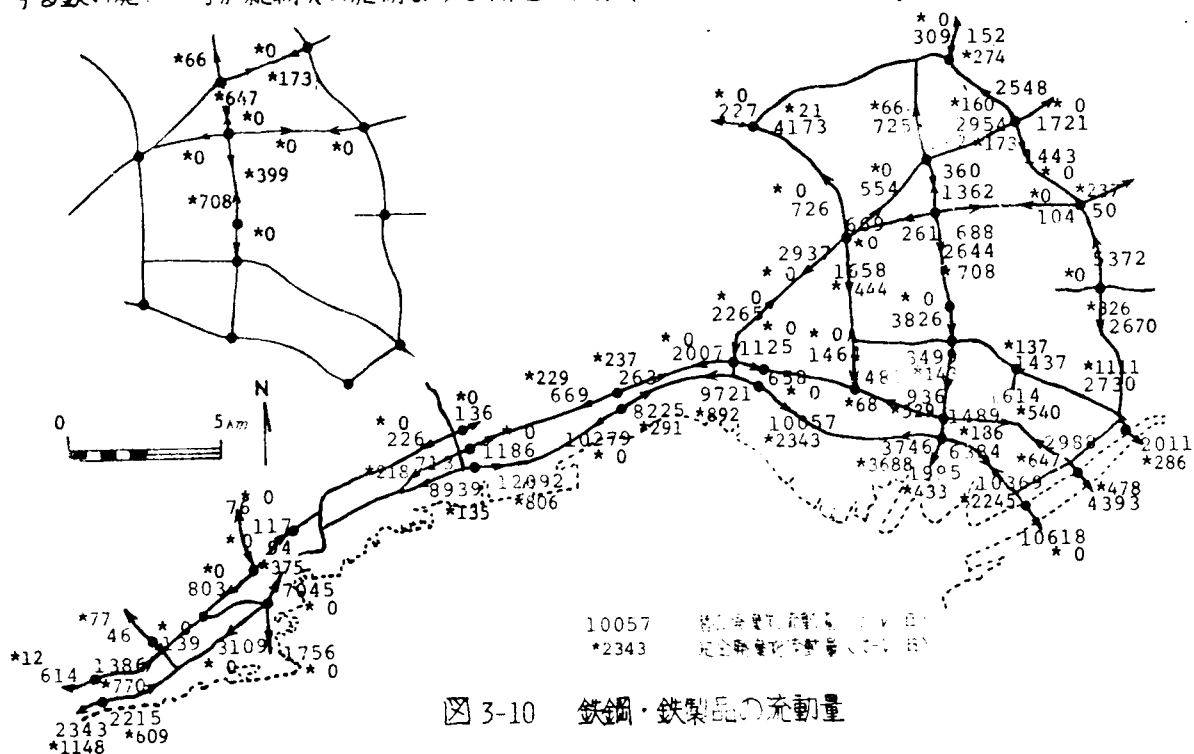


図 3-10 鉄鋼・鉄製品の流動量

鉄鋼と同じく現代工業の基幹物質である化学物質をみると、石油やLPGが大量に運搬されているのに、その廃棄物は気体として直接に自然の運搬系に放出されているので、化学物質の廃棄物濃度は全域にわたって低い。タイヤやプラスチックの廃物を中心とする少量の固体廃棄物と土壌汚染構成物質のいづれの流動も併せて工場地域に集中している。逆に、耐用品の廃棄物は全廃棄物と潜在廃棄物のいづれもその量も地域的にかなり平均化されており、消費的・生産的の性格があらわれている。（図 3-11 参照）

図 3-12 は測定地点の特性を無視して、耐久消費材流動量に統計的処理をよこしたものであり、潜在廃棄物の流動量平均値として 750 t-1/日 を得る。地域的な流動量の差が少ないので、対等である東部・西部の二つの地域を完全に通過する耐久消費材の流動は事実上、無視できなげであろう。したがって、次のような推論をおこなうことができよう。5-4-2 で示す阪神間 7 市での耐久消費材に関する質問紙調査の結果を用いて、断面流動調査の対象地域との若干の調査地域の差異と消費材として取りあげられていない個々の品目ごとの量をひとまず無視するとすれば、東部地区と西部地区の家庭用耐久消費材に関する諸元は表 3-7 のようになる。断面流動調査の測定地点をむすび主要道路の総延長約 160 km の上を、前述の平均流動量が 12 時間の間に時速 40 km で動いているとすると、対象とした主要道路上に計算上は単位長さあたり約 1.6 t-V/km、全路線上に約 250 t-V の耐久消費材が平均的に存在していることになる。後者の値は表 3-7 の製品購入量はもろろんのこ

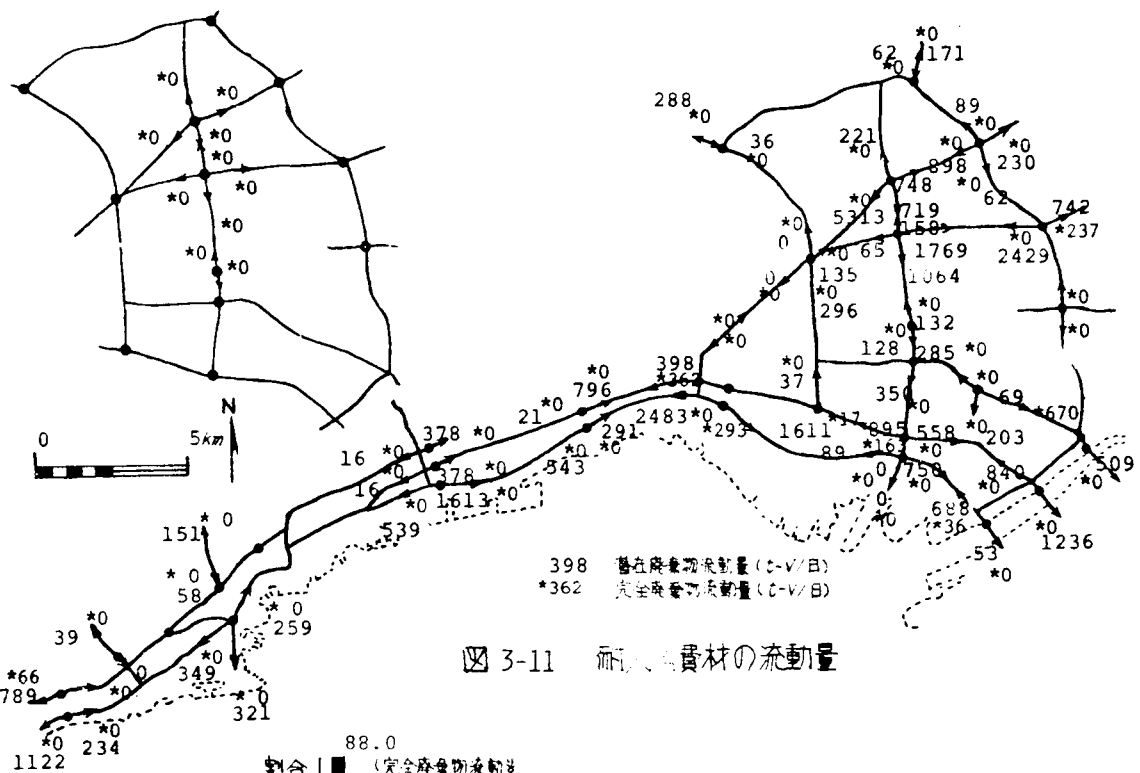


図 3-11 耐久消費材の流動量

と、廃用量と比較しても小さく、1日あたりの廃用量の1/3程度の値である。耐久消費材として算定された物資が主産単位から消費単位への移動過程で、これらの主要道路とどの程度にかかっているかが不明であるが、表 3-7 の値から主要道路から形式的に1 km あたりに20 t-V/日の製品が地域に浸透していると考えると、1

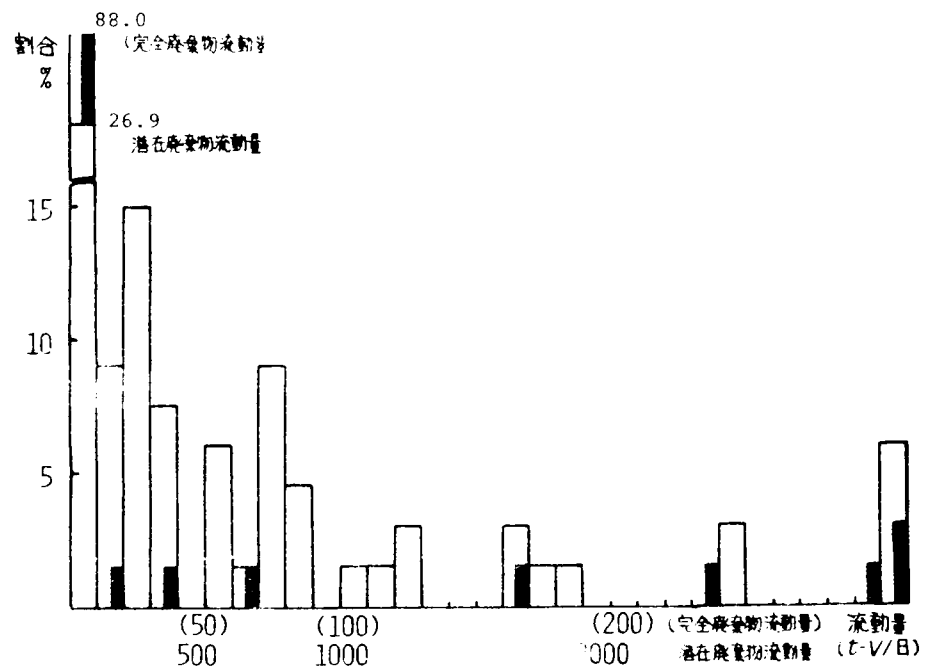


図 3-12 耐久消費材の流動量の割合

表 3-7 耐久消費材の流動と代謝に関する数値

	東部地区	西部地区	備 考
耐久消費材主要9種の購入量	14.6×10^2	15.6×10^2	1968年 (t-V/日)
耐久消費材主要9種の廃用量	3.3×10^2	5.2×10^2	1968年 (t-V/日)
人 口	132	123	1968年 (万人)
判定地点と結ぶ主要道路の総延長	117	42	(km)
主要道路からの仮想的な潜在廃棄物浸透量	12.5	37.1	(t-V/km-日)
主要道路への仮想的な潜在廃棄物浸透量	2.8	12.4	(t-V/km-日)

時間後に約 1.6 t-V/km の量が浸透することになるので、計算上は主要道路と約1時間、すなわち、平均 40 km 程度の接触をもっている。

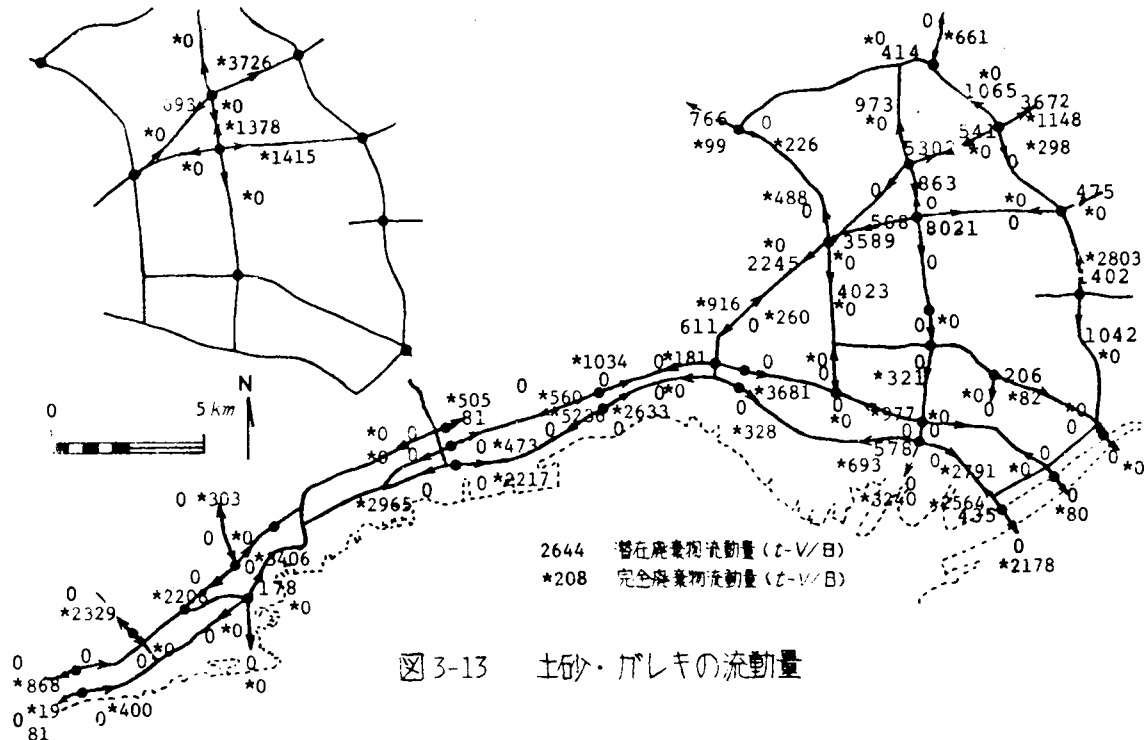


図 3-13 土砂・ガレキの流動量

土砂・ガレキの流動量を図 3-13 に示すが、既成市街地内の値よりも、掘削の進みつつある東部地区の内陸部の値が大きくなっている。資材として運搬されていると推定される土砂、砂利などは潜在廃棄物に分類したが、東部地区の中央部で国道 171 号線の高架工事などが行なわれていた影響と思われる大きな潜在廃棄物流動量が観察される。掘削後の残土や汚泥などを中心とする完全廃棄物の流動量を見ると、産業幹線上の測定地点 10, 12, 19, 20 において、1 日あたり 1000 t-V をこえる量が輸送されており、前述の東部地区の中央部でも大きい値を示している。既成市街地のガレキ・廃土は都市の更新のために生じるものが多く、逆に新市街地のそれは新規開発にともなう地表面の改造によって生じているのであるから、異った評価をする必要がある。都市の代謝の結果として、建物に由来する廃物が多量に発生することは避けがたいのであるが、それが脈絡的塞官である道路を占有することは都市空間に悪い影響を与えるので、土砂・ガレキの発生と廃物輸送については別途に検討する必要がある。人口の稠密な地域ではガレキ・廃土の処分地が相当の長期にわたって確保することは困難であり、また、そこへ運搬するために生じる空間占有も都市構造からみて宿命的な面があるので、単純な処分地配置と輸送問題として設定するだけでは十分ではないことをここでは注意するにとどめて、第 4, 5, 6 章で再び論じることとする。

推察される。

ついで、環境計画上の重要因子である流動物質中の廃棄物濃度 p に関して検討をおこなう。図 3-14 は流動物質を対象とした p の値を示したものであり、いくつかの特徴について列記すると次のようである。

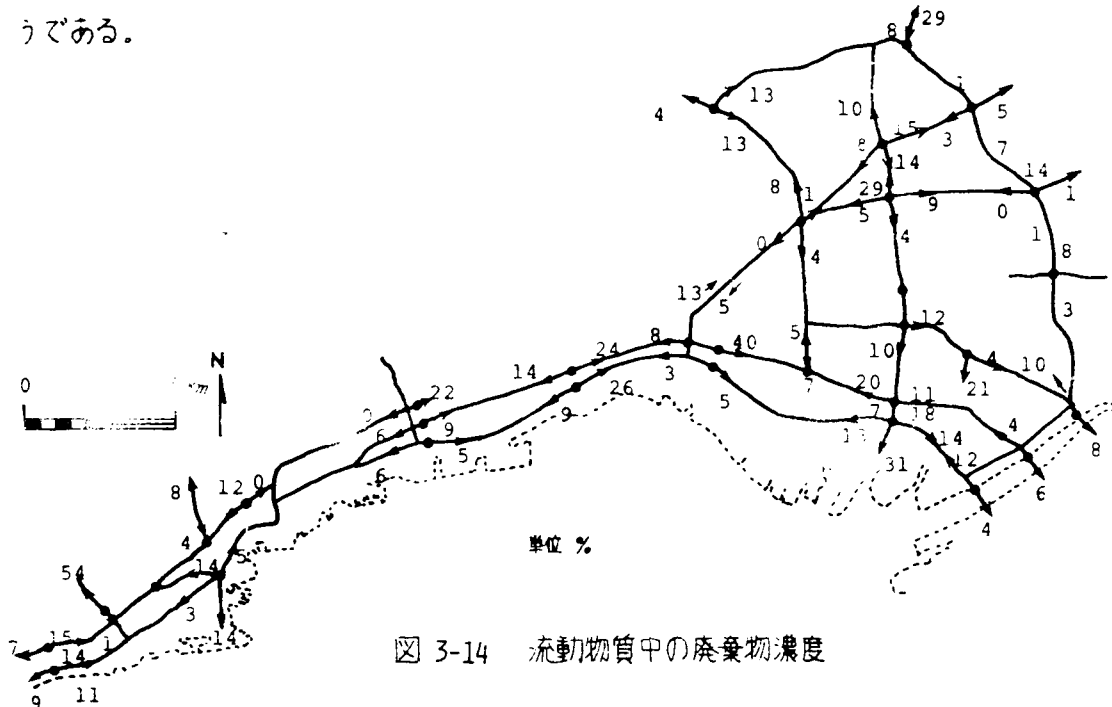


図 3-14 流動物質中の廃棄物濃度

(i) 流動物質中の廃棄物濃度 p はおおむね、0.1~0.2の間に分布している。産業道路としての性格の強い幹線道路では潜在廃棄物の流動量が多いために、絶対値ではかなり多量の完全廃棄物の流動がみられるにもかかわらず廃棄物濃度は低くなっており、希釈現象が生じていると解することもできる。

(ii) 都市廃棄物の焼却場・埋立地の近辺の道路では p の値は高くなることが予想されるが、本地域の調査結果では、図 3-14 の地点 3 の北行、地点 20 の西行の値はそのことに起因していると考えられる。

(iii) 一地点での方向別流動量の差が約 10% であることに示されているように、潜在廃棄物の流動には方向性がとぼしいが、これに対して p の値は同じ地点においても方向による差が大きい。このように潜在廃棄物より完全廃棄物の流動が方向性をもち、流動の特性が流動物質の廃棄物濃度にあらわれていることに注目すれば、潜在廃棄物の集合としての都市環境の動向についての手がかりが得られる可能性がある。

(iv) 完全廃棄物の流動の地域特性は廃棄物濃度の分布によっても把握することができる。測定地点 20, 21, 22 では p の値はおおむね西行の方が高く、地点 (11, 12), (14, 15) では東行の方が高い値を示しており、これらの測定地点の間の地域には廃物がもちこまれて、それらの集積による環境

の劣化が進行している可能性がある。

二次元的な地域の物質流動の解析をすすめる上で、地域全域の物質収支の次に検討すべきことはいくつかのブロックごとの物質収支である。一次元化された流動の基本式は次のようにあらわされる。

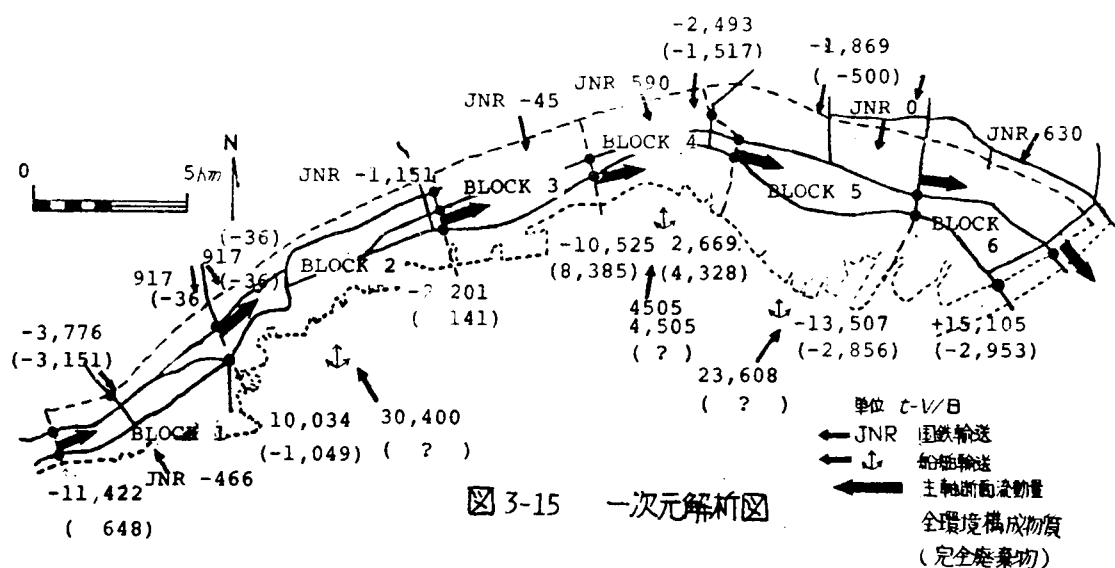
$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} = \varphi_x \quad (3-15)$$

ここに、 c は x 軸単位長さあたりの環境構成物質の現存量を、 u は環境構成物質の x 軸方向の移動速度を、 φ_x は x 軸と直交する方向の流出入量（流入量を正とする。）と質的方向の転出入量（転入量を正とする。）との和を意味する。式(3-14)は廃棄物体の z 軸方向に下面から上面まで積分して得られたものであるが、式(2-10)のように、潜在廃棄物と完全廃棄物に対応して積分範囲を分割すれば、それぞれの流動を取扱うことができる。主軸方向に長さが l であるようなブロックの収支式は、式(3-15)を $c u = Q$ として変形すれば、形式的には次のように表現される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot l \right) - Q = \varphi_x \quad (3-15)'$$

Q は主軸の正の方向への単位時間あたりの流動量を意味する。

そこで、沿岸部の地域に7つの断面をもうけ、その断面を通過する流動量の差として実質流動量を算定したものが図 3-15 である。道路を経由する横からの流入量のほかに、国鉄と船舶によって運搬されている貨物量もあわせて記入している。まず全環境構成物質の収支を検討する。神戸港、尼崎港を有するブロック2,5では船舶輸送が決定的な影響をもち、国鉄と船舶によるものを含め、蓄積増加量はブロック2では 4.2×10^4 、ブロック5では 3.8×10^4 t-V/日を示し、大巾に流入が卓越している。流 入物質は潜在廃棄物として蓄積する一方で、工業地帯では完全廃棄物への急速な転化が生じているものと思われる。逆に道路輸送の面で主要な発生地の間にはさまれたブロック4,6は実質的流出が観察される。計算上の蓄積増加量はブロック4で -1.1×10^4 、ブロック6で -2.9×10^4



$t-V/B$ を示すが、ブロック内で第一次産業型の生産が他のブロックより多くおこなわれているという傾向もないので、断面流動調査をもとにした一次元解析について、つぎのような問題点があることを示していると考えられる。主軸に直角の方向では境界を通じて流入、流出があるにもかかわらず、主要な道路での流出入量しか q_x として定量化していないために、収支が合致しないが、もしくは直接に測定していない項（ここでは、 $\partial c/\partial t$ ）の値に誤差を集中する危険性がある。また、主軸方向の問題としては、住宅地域、幹線道路が貫通している場合など、対象としているブロックのなかに発着地点をもつ流動が多量の通過物量の流動によって遮蔽される可能性が無視できないことがある。

次に、顕在化した完全廃棄物のブロック別の流動を考察する。ブロック1では都市廃棄物の焼却場の存在がブロックの物質収支に影響を与えており、主軸に直交する横方向への流出が顕著である。ブロック2でも外部への流出が卓越しており、隣接するブロック3でも東の方向へ流動しているが、ブロック4では東の方向に流動する完全廃棄物の一部が蓄積される状態を呈している。残りの部分はさらにブロック5へ流入しており、断面7,6では西の方向へ完全廃棄物の実質的流動がみられ、その流れの合流するブロック5ではみかけ上は数千 $t-V/B$ という多量の蓄積が生じることになる。ブロック2とブロック5を比較すると、物質流動にともなう式(2-6)の dR/dt の値は全環境構成物質では同程度であるが、完全廃棄物のみに限定した蓄積増加量はブロック2では -1.2×10^3 、ブロック5では $+6.7 \times 10^3$ というようにきわだった差異をみせている。ブロック5でのみかけ上の蓄積増加量はそのまま地域内に残留していると判断するにはあまりにも多いので、次のように主軸と直角方向に流出が生じていると考える方が妥当であろう。すなわち、調査時点においてはブロック5の内部に土砂を中心とする産業廃棄物の大規模な埋立地も存在せず、さらに南北方向の主要幹線（測定点(19,10)と(1,52)を経由する実質流出量も比較的少ないところから、このままの分布状の浸透（特定の道路に集中していないことを意味する。）が生じている可能性がある。

以上、廃棄物の流出に対して一次元的に解析を試みてきたが、結論的には地域の発展形態が一次元解析とそれに相応した断面流動調査の有効性を左右するといえる。対象地域の東部地区は大阪、神戸、尼崎の市街地より種々の影響を受け、それらからの遠心方向への開発が進行しており、南北方向の流動が、主軸である東西方向の流動に深くかかわっているので、横からの流入量を含む q_x をさらに具体的に表示しておく必要がある。これに対して、西部地区は主として地形に制約されて一軸方向に発展した市街地の形態を示しており、南北方向の流動はいくつかの集中型の流入として組みこむことにより、一次元解析をおこなうことができる。

3-4-3 潜在廃棄物環境の動向の解析²⁴⁾

再び、実空間の距離を示す x 軸のみを残して一次元化した式(3-15)を用いて検討をおこなう。実質的な断面流動量を Q として、 $c = Q/u$ を代入すると、

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{u} \right) + \frac{\partial Q}{\partial x} = q'' \quad (3-16)$$

となる。ここで q'' は、横からの流出入量（流入量を正とする）と物質サイクルに沿った質的な転出入量（転入量を正とする）の和を意味する。上式を差分表示すると、

$$\begin{aligned} - \frac{u_{\tau,m} - u_{\tau-1,m}}{t_{\tau-1,m} \cdot (u_{\tau-1,m})^2} \cdot Q_{\tau-1,m} + \frac{1}{u_{\tau-1,m}} \cdot \frac{Q_{\tau,m} - Q_{\tau-1,m}}{t_{\tau-1,m}} \\ + \frac{Q_{\tau-1,m+1} - Q_{\tau-1,m}}{L_{\tau-1,m}} = q''_{\tau-1,m} \end{aligned} \quad (3-17)$$

となり、ここで、

$$\begin{aligned} u_{\tau,m} &: t = \tau, x = m \text{ における } u \text{ の値} \\ t_{\tau-1,m} &: t = \tau - 1 \text{ より } t = \tau \text{ までの時間} \\ L_{\tau-1,m} &: x = m \text{ より } x = m + 1 \text{ までの距離} \\ P_{\tau-1,m} &: \text{物質流動時間係数, } P_{\tau-1,m} = (Q_{\tau,m} - Q_{\tau-1,m}) / Q_{\tau-1,m} \\ S_{\tau-1,m} &: \text{物質流動場所係数, } S_{\tau-1,m} = ((Q_{\tau-1,m+1} - Q_{\tau-1,m}) \cdot L_{\tau-1,m} - q''_{\tau-1,m}) \\ &\quad \cdot t_{\tau-1,m} / Q_{\tau-1,m} \end{aligned} \quad (3-18)$$

のようにおけば、式(3-19)が得られる。

$$u_{\tau,m} = u_{\tau-1,m} \cdot (1 + P_{\tau-1,m}) + (u_{\tau-1,m})^2 \cdot S_{\tau-1,m} \quad (3-19)$$

$u_{\tau,m}$ は $u_{\tau-1,m}$ の二次関数として表現されており、図 3-18 のように、 P, S の値から速度 u の経年変化の動向を知る図解法が導き出される。たとえば、 m 番目と $m+1$ 番目の断面にはさまれた地域において、図 3-17 に示すタイプ ($S < 0$) の物質流動を想定すると、 P が正值のとき、すなわち地域の左からの物質流入量が年ごとに増加すると地域内に潜在廃棄物の蓄積が生じるが、 u の値自身は平衡に達しようとする傾向（図上で l_1, l_2, l_3 を経由）を示す。逆に、 P が負値の場合には u の値は減少しつつあるといえる。いずれにしても、式(3-19)の二次曲線が傾き 45° の直線と交わる点はひとつの飽和点と考えられるので、一般的にはその点 A の付近とそれより原点側の曲線部分が重要である。同一地点の流動の時間的变化を表わす係数 P 、流動の場所的变化を表わす係数 S は、原点付近での二次曲線のパターンを示す値として重要である。表 3-9 は P, S の値の符号の組み合わせと物質流動の指標である速度 u の動向との関係を示したものである。

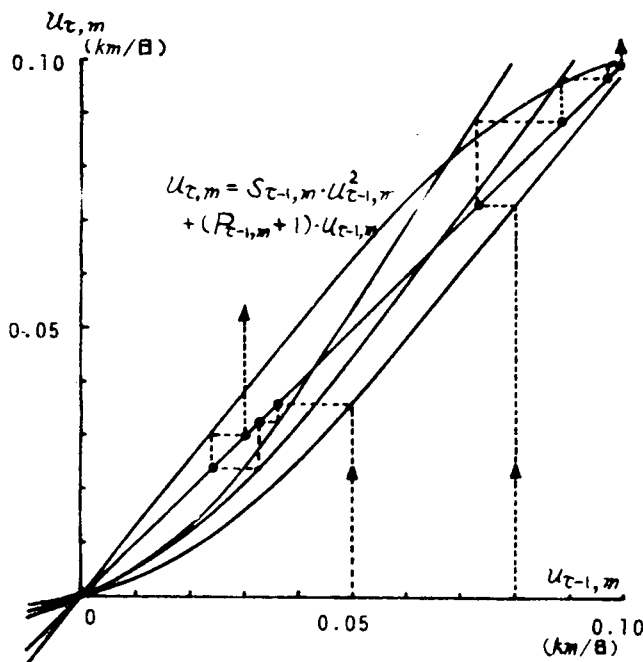


図 3-16 u の時間的变化をもとめる図解法

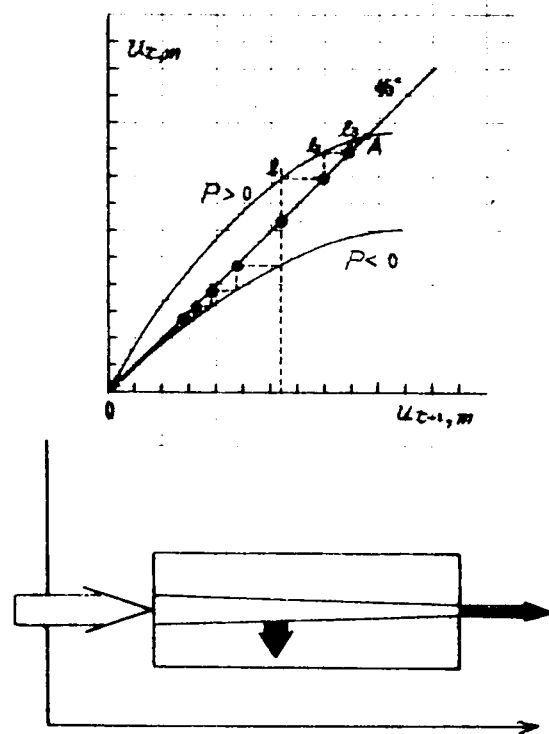


図 3-17 S が負の場合の物質流動

表 3-9 パラメーター P, S による速度 u の将来予測

	初期値 $u > 0$			初期値 $u < 0$		
	$S > 0$	$S = 0$	$S < 0$	$S > 0$	$S = 0$	$S < 0$
$P > 0$	$ u $ 急増	$ u $ 急増	$ u $ 増加, 上限値存在	$ u $ 増加, 下限値存在	$ u $ 急増	$ u $ 急増
$0 > P > -1$	$ u $ 減少	$ u $ 減少	$ u $ 減少	$ u $ 減少	$ u $ 減少	$ u $ 減少
$-1 > P$	u 減少, 負値に変化	負値に急変	負値に急変	正値に急変	正値に急変	$ u $ 減少, 正値に変化

ある年度における $u_{t-1,m}$ の値を知ることができたとする。断面流動調査によって式(3-18)の $Q_{t,m}$ をはじめとする流動量が得られると、原理的には図解法により $u_{t,m}$ がも定められ、ついで $C_{t,m}$ も決定される。しかし、廃棄物処理にともなう $q''_{t,m}$ の値の把握が困難であり、しかも断面流動調査が継続的におこなわれていない現状では、すぐに将来値を定量的に予測することは不可能で、当面は将来の動向を定性的に説明するにとどまらざるを得ない。

ここでは例として神戸市六甲～芦屋市間の地域(図 3-15 のブロック 3)について、断面流動調査で得た実質流動量を Q として P, S を算出し、 $u_{t-1,m}$ と $u_{t,m}$ の関係をあらわす二次曲線を図 3-18 に示す。過去の流動量の実測値がないので、1970年の時点の Q の実測値を基準として、過去の Q の値を交通量の比で配分するというきわめて概略的な方法を採用した。さらに、清掃事業による

廃棄物処理量を無視し、地形的条件から主軸に直交する方向の流出入量はほとんどゼロとして、 φ'' をゼロとおいた。 u の初期値が不明であるが、 u が $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ km/日}$ 程度の値であれば、全環境構成物質についても、完全廃棄物のみに関しても、 u の絶対値の増加傾向が減少に転じていると判断できる。

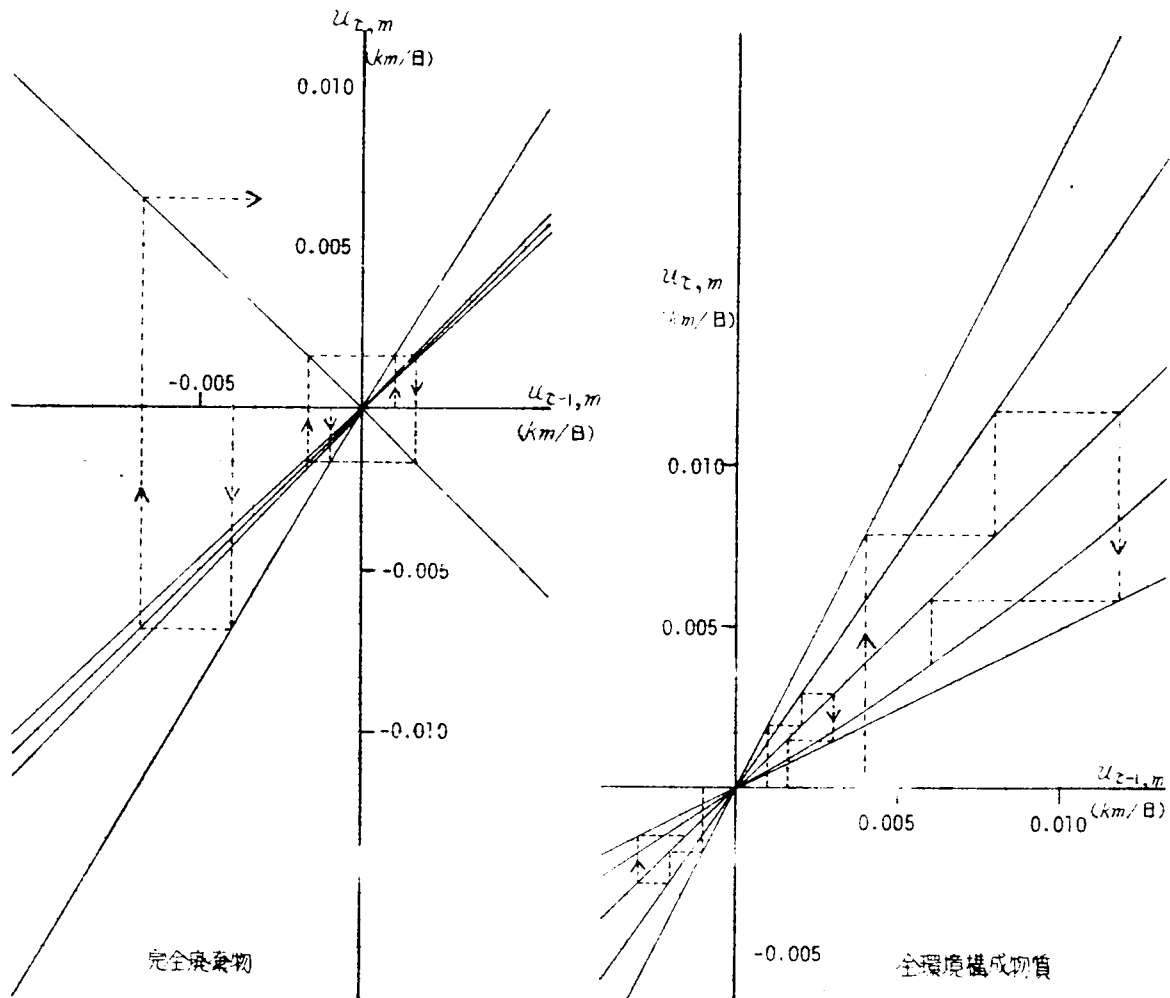


図 3-18 神戸市六甲・芦屋市間の区域での u の変化

なお、 u は道路上の貨物自動車の走行速度ではなく、物質蓄積区域が一次元的に拡大する速度の代表値であると解すべきである。都市域が無秩序に広がってゆくスプロール現象においては、形態的には、物質の移動が重要な規定因子であると推定され、都市の発展を過去にさかのぼって式(3-19)を用いて検討することも有意義であろう。ただし、のちに述べるように、区域の拡大を束縛した条件下で物質の蓄積に寄与するところの物質流動にともなうものを、 u が含んでいることに留意しなければならない。この点については、次項でさらに検討することとする。

3-4-4 二次元解析と拡散モデルの検討²⁴⁾

断面流動調査の結果のなかに、基本式(2-1)の積分に際して境界条件として設定されると考えてきた部分に、流動の駆動力が関与しているのではないかと推定しうる状態が見い出された。図3-15のブロック5について述べた分布状の流出がそのよい例であり、一次元解析の帯状の地域とそれに接続する地域の人口密度の差と関連させると、環境構成物質の現存濃度の差に比例して流出量が規定されているとの見方ができる。その比例定数を D とおくとき、式(3-15)は次のように書き改められる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(Cu)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right) + q'' \quad (3-20)$$

この場合の q'' は、 x 軸と直交する副軸方向の流出入量を含まず、地域内部での廃棄物処理などによる質的な方向の転出入量のみを意味する。 D_y は環境構成物質の y 軸方向の拡散係数であり、その単位はたとえば km^2/hr のようにあらわされる。

潜在廃棄物の集合としての都市の形態変化としては、都市域が周辺部に拡大してゆく場合と、束縛条件のために拡大されずに密度が高くなる場合という二つの極が考えられる。一般の都市のスプロール現象はこの二つの場合の空間的タイプであって、単位面積あたりの潜在廃棄物量が増加しつつ、都市域は拡大されている。内部の環境構成物質の現存濃度が一定のままで都市域が拡大される場合を想定し、その濃度がおおまかに人口密度と比例的関係にあるとの仮定をすると、東部地区の年間人口増加率が約5%であることから、都市域の拡大は約 $10 km^2$ （年）（面積 $200 km^2 \times 0.05$ ）程度となる。拡散係数のディメンジョンは〔面積/時間〕であり、都市域の平面的な拡大速度のそれと同一である。しかし、流動量と環境構成物質現存量の濃度勾配に比例してあらわされるといふ拡散係数の定義、ならびに式(3-20)の表現にもとづくと、ある地点での物質の集中的投入は瞬時に無限の遠方まで伝わることになるので、拡散係数としてこの種の特徴をもつ面積（具体的な拡大であると解釈することはできない）。

式(3-20)において、 $\partial(Cu)/\partial x = 0$ とおき、距離 y に関して積分すると、

$$\int \left(\frac{\partial C}{\partial t} - q'' \right) dy = \int \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right) dy \quad (3-21)$$

$$\left[\frac{dR}{dt} - Q'' \right]_{y_1}^{y_2} = D_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \Big|_{y_2} - D_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \Big|_{y_1} \quad (3-21)'$$

となるので、 D_y が位置 y に関して不変であるとすれば、実質的な蓄積増加量を濃度勾配の差（微小区間での実質的蓄積増加量に対しては、現存濃度の y に関する二次微係数）で割った商が拡散係数であるといえる。 y_2 を無限大にとれば（式(3-21)の右辺第1項は非常に小さい）、全域の実質的蓄積増加量を中心（ $y=y_1$ ）付近の濃度勾配をたもちながら分配したときに影響をうける仮想的

区域の面積に、 D_y が相当すると考えることができる。

東部地区における人口増加が、先の検討とはまったく異なって、内部の環境構成物質の量を増加させることにのみ働いているとすると、次のような議論が展開できよう。東部地区の東南の端点に都市の一部があるものとし*、そこから東部地区を貫く放射状の単位巾をもつ地帯に注目して、その環境構成物質濃度が中心部から指数関数にしたがって減少してゆくものとするれば、物質濃度が半減する距離 l^* ならびに中心付近の濃度の一次微係数は次のように表現されよう。

$$C = C_a \cdot e^{-kl} \quad (3-22)$$

$$l^* = (\log_e 2) / k \quad (3-23)$$

$$-\frac{\partial C}{\partial l} \bigg|_{l=0} = C_a \cdot k \quad (3-24)$$

帯状の地域の平均巾を B とし、前述の人口増加率と同じ速度の割合で環境構成物質が増加するものとする、その年間増加量は $0.05 \cdot B \cdot \int_0^\infty C_a \cdot e^{-kl} dl$ であられるので、拡散係数に相当する仮想的地域の面積は次のように計算される。

$$\frac{0.05 \cdot B \cdot \int_0^\infty C_a e^{-kl} dl}{C_a \cdot k \cdot B} = \frac{0.05 \cdot (l^*)^2}{(\log_e 2)^2} \quad (3-25)$$

l^* の決定には、たとえば、単位面積あたりの延床面積の中心からの減少傾向が現段階では有力な手がかりを与えるが、環境構成物質の現存量の分布に関する全般的な把握は、第4章に述べる航空写真調査などの解析結果にまかす必要がある。

人口密度（大阪市内平均 $15000 \text{ 人}/\text{km}^2$ 、伊丹市 $5600 \text{ 人}/\text{km}^2$ 、宝塚市 $1100 \text{ 人}/\text{km}^2$ 、1970 年）を代用指標として半減距離 l^* を推定すると、数 km となり、式(3-25)に代入すると $2 \text{ km}^2/\text{年}$ 程度の値が得られる。もちろん、物質濃度が指数関数的に減少するとの仮説は、図3-19に示す「建物のコンクリートとしての潜在廃棄物の現存密度の変化**」を参照すると比較的良く実際に適合するといえ、周辺部分の表現にはいかに問題を含んでいる。境界を固定した場合には、式(3-21)の右辺第一項を無視することによって拡散係数が小さく算定されている。逆に、境界が膨張するものとした場合では、膨張前の境界内部における蓄積密度の増加を無視して人口増加量を境界外部に割りつけており、過大な拡散係数となっている。

参考のために日量に変換すると、 $0.005 \sim 0.03 \text{ km}^2/\text{日}$ 程度であるが、これらの値は完全廃棄物のみではなく潜在廃棄物を含めた流動量や現存量に対する値と理解すべきであろう。一方、第8章で

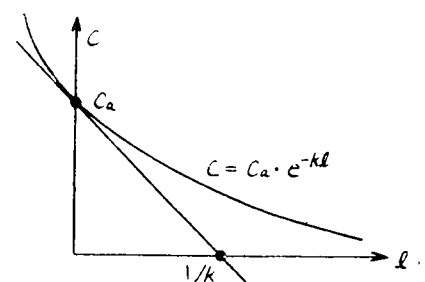


図 3-19 環境構成物質濃度の指数関数的な減少

* 大阪市内の中心部を想定している。

** 110 ページの図 4-23

述べるように媒質と媒体との関係のレベルを下げ、全環境構成物質を媒体、完全廃棄物を媒質とする場合には、次のように考えることもできる。地域内部で物質循環のおおのこの部分の空間的密度が高まると、廃棄物処理体系が十分でない場合には、以前よりも多量に発生した廃棄物は循環の空間的拡大を求めて、周辺部を経由して都市域外への拡散的状況を示すので、廃棄物濃度（静止物質についての値）と実空間に対する完全廃棄物密度の二つの指標について拡散係数に類似した概念が必要となるであろう。ひとつのタイプは次のようなものである。

$$D = \frac{(\text{完全廃棄物現存量：} t-l) \cdot (\text{面積：} km^2)}{(\text{全環境構成物質現存量：} t-l) \cdot (\text{時間：} 日)} \quad (3-26)$$

さて、基本式(2-1)を価値軸である z 軸方向に積分すると、質を無視した物質の地域流動式が得られることはすでに述べたが、環境構成物質の流動の原動力がその濃度勾配に比例するとして式を展開してみよう。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} + \frac{\partial(cv)}{\partial y} = q \quad (3-27)$$

$$cu = -D_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x}, \quad cv = -D_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y} \quad (3-28)$$

$c_u = Q_u$, $c_v = Q_v$ とおき、式(3-28)を差分表示すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} [Q_u]_{m,n} \cdot X_{m,n} &= -D_x \cdot (c_{m,n} - c_{m-1,n}) \\ [Q_v]_{m,n} \cdot Y_{m,n} &= -D_y \cdot (c_{m,n} - c_{m,n-1}) \end{aligned} \quad (3-29)$$

ここに、 D_x , D_y はそれぞれ x 軸, y 軸方向の拡散係数を、 $X_{m,n}$, $Y_{m,n}$ はそれぞれ x 軸, y 軸方向の距離とし、サフィックス m, n は差分ステップをあらわす。(3-29)にもとづき、流動量 Q_u , Q_v の実測値を用いて、試行的に c , $(\partial c / \partial t)$ をもとめることは原理的には可能である。

ここでは例として、拡散係数を式(3-26)のように定義して検討をすすめることとする。全環境構成物質の濃度勾配に比例して完全廃棄物の流動量が定まるというモデルは、処理・処分体系によって廃物の特徴的な流動が支配的となるという現実認識がなされる場合にはまったく適合しないが、清掃事業による環境サイクルが地域での流動規模からみると小さく、それに関与しない投棄型の廃物の流動が卓越する場合や、自然の浄化能力に期待したり、人間と廃物との接触*を避けるように流動を制御する場合にはある程度の説明力をもつものといえる。東部地区の一部をとりだし、式(3-26)の意味の拡散係数 D_x , D_y の値として暫定的に $0.005 km^2/日^{**}$ を与えて、完全廃棄物の流

* 投棄されている廃棄物を見る、あるいは処理・処分の過程や運搬過程で住民が廃棄物を知覚すること。その定量化の第一歩としては、たとえば、ゴミ運搬車と一日に見る回数を検討することにもとめられよう。

** あくまで暫定値であって、地域ごとに D_x , D_y の値をもとめることは相当に困難である。 D_x , D_y は、 c とともに潜在廃棄物の現存状態を規定する重要な因子であり、当初より値を固定する必要はないだろう。

動量の実測値から全環境構成物質の現存量の分布をもとめることとする。

断面流動調査の各測点地点での完全廃棄物流動量から、式(3-29)を用いてCの差をもとめ、測定地点の間で $\partial c/\partial x$ の値が急変するものとし、No.22の地点を基準とした現存量を算定した。たとえば、No.22の970 t-V/日の流動量と距離3.6 km (7.2 kmの半分) とから、 $970 \times 3.6 \div 0.005 = 7 \times 10^5$ (t-V/km²) とし、平均中*3 kmで割った値をNo.22、No.28の中間点の相対的な現存量とした。計算結果を示したのが図3-20であるが、No.17の地点をはじめとして、二つの異なった経路を通じて得た値がかなり相異しており、閉回路を一周して $\partial c/\partial x$ (あるいは $\partial c/\partial y$) の値がゼロ付近の値をとらないなどの問題点がある。それは拡散係数であらわした性質が地域によって異なることにもよるが、全般的には、そのことを包含するこの式(3-20)に表現したモデル構造の妥当性について検討することが必要である。

地域における物質流動を二次元的な視点から解析することは、地域全体としてのマクロな特性を把握する段階、いくつかのブロックの直列結合としてみた地域の一次元解析の段階と平行しつつ、それらの延長上にあるものといえる。廃棄物濃度や完全廃棄物流動量の分布を定量的に論じることが、二次元解析の重要な一部を構成しているものと考えられ、すでに3-4-2においてもそのような見地からの検討がおこなった。

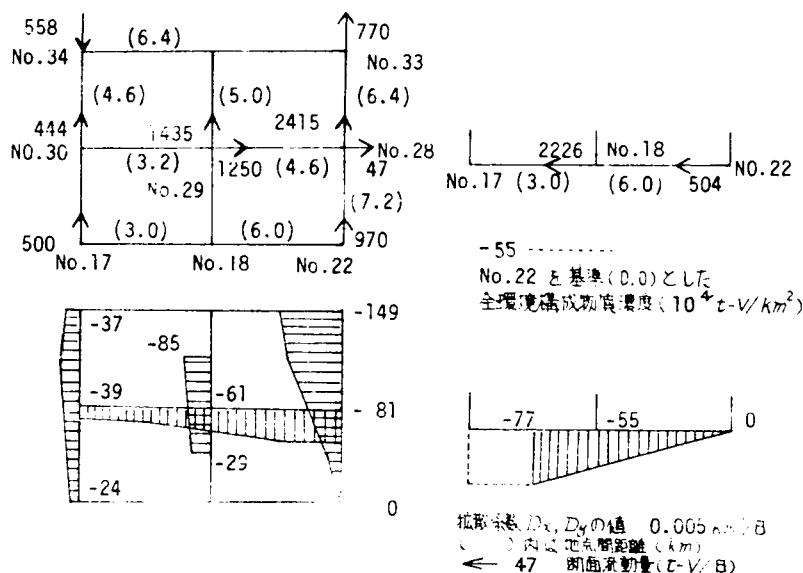


図3-20 拡散モデルの検討例

第2章でも述べたように、断面流動調査は主として地域的流動を取扱っており、式(3-20)の検定に必要な全環境構成物質の現存量の把握も航空写真調査などに依存しており、また、廃物発生の機構も代案をあきらかにするための質問紙調査などの調査・研究の発展にともなって把握されるという性格をもつところから、断面流動調査の結果のみでモデルの妥当性を全面的に論じることができない。断面流動調査の独自の範疇から拡散モデルについて二、三の点を述べておくこととする。

基本式(2-1)の時間的、空間的な同質性の問題は三次元モデルや一次元モデルにもみられ、一般的には3-6-1で論じることとするが、二次元モデルでは次のような問題のあらわれ方をする。数少ない主要道路上での物質流動量を地域における二次元平面上で分割することに意味があるかどうか、言いかえると、その物質流動量が道路のまわりの地域に均等に関連をもっているか

* 断面流動量の影響範囲であり、値は恣意的なものである。次的には、 $\{(t-V/B) \times (km) / (km^2/B) / (km)\} = (t-V/km^2)$ となっている。

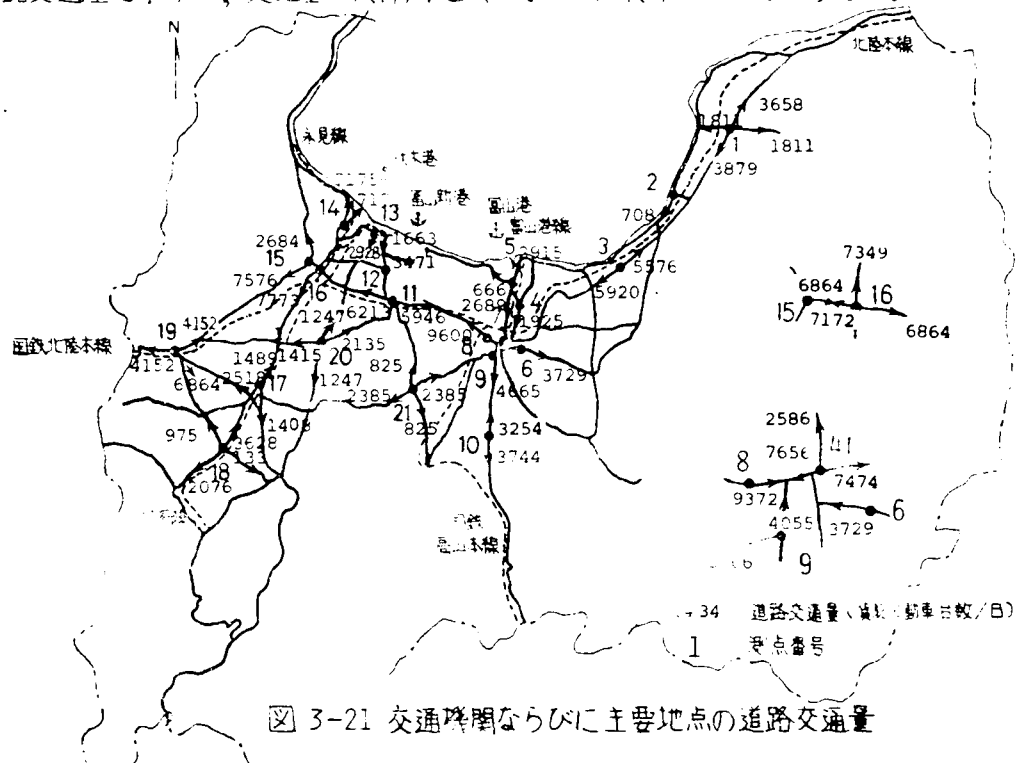
という点である。全環境構成物質の現存量の分布，とくにその現存密度の勾配と道路の単位巾が受ける地域面積との関係によってモデルの妥当性が大きく規定されているといえる。図 3-20 に示した初歩的な二次元解析は骨格であるネットワーク上の値を算定したのであって，地域のある部分の値を計算したものではない。各測点地点の道路の方向によって流動量をベクトルとして 2 軸に成分分解をおこない，それらを道路周辺を含む地域としての速度成分であるとするには，道路の単位巾あたりの地域面積が大きすぎるのではないかと考えられる。

すなわち，式 (3-26) を図 3-8 に示す空間的大きさと測定地点密度のもとで用いる場合には，式 (3-20) で示す帯状の完全廃棄物の浸透をあらわし得ず，比例定数 D も特定の道路上の流動を支配する指標にすぎないといえる。あくまで，潜行廃棄物環境の現存量 C に対応する二次元的な流動を把握しようとするれば，道路各断面の流動量に対して場所的にも時間的にもある種の積分操作をおこなうことが必要と考えられる。

3-5 都市散在地域における物質流動

3-5-1 富山平野部における断面流動調査²⁶⁾

本系地域である富山平野は農業に重要な基盤を提供し、内陸部に都市を散在させているとともに、臨海部には実日本でも有数の工業地帯を有している。工業の中心は高岡から新湊にいたる部分と富山市周辺の二地域があげられるが、それらが連続せずに、低密度の農村地域を間にはさんでいることが重要な地域特性と考えられる。県下の人口は約105万人(1970年)で、その大部分は富山平野部に集中しており、製造業出荷額は年間約7500億円(1970年)、穀物生産量は年間約37.6万トン(1967年)である。富山県は面積の約60%は山地であり、東と南の方角には北陸山脈がっつりな山地の谷間を数少ない幹線道路が走っている(図3-21に、地域の物質流動にかかわる交通機関として主要地点の道路交通量を示すが、交通量は阪神間地域のそれに比較するとかなり少ない。



断面流動調査は1971年8月に実施したが、その方法は阪神間地域でのそれと同じである。3-2-2にのべた手続きを経て、総物質の流動量が図3-22のようになされた。全環境構成物質の流動量は主要幹線で10000~20000 t-V/日を示すものの、阪神間でのそれに比べてかなり少ない。国道8、41、156号が地域境界を横断する地点における全環境構成物質の流動量は5000 t-V/日程度であることから、それらの幹線上の都市部において示す10000 t-V/日前後の流動量のすくなくとも半量は通過流動ではない。完全廃棄物の流動量の最大は1000 t-V/日程度であり、高岡市中心部でかなりの流動がみられる。しかし、もう一方の極である富山市中心部における完全廃棄物の流動量はそれらの約1/2で、対照的な状態にある。図3-23は、国道8号線に沿って流動する潜在廃棄物な

らびに完全廃棄物の流動量を示している。

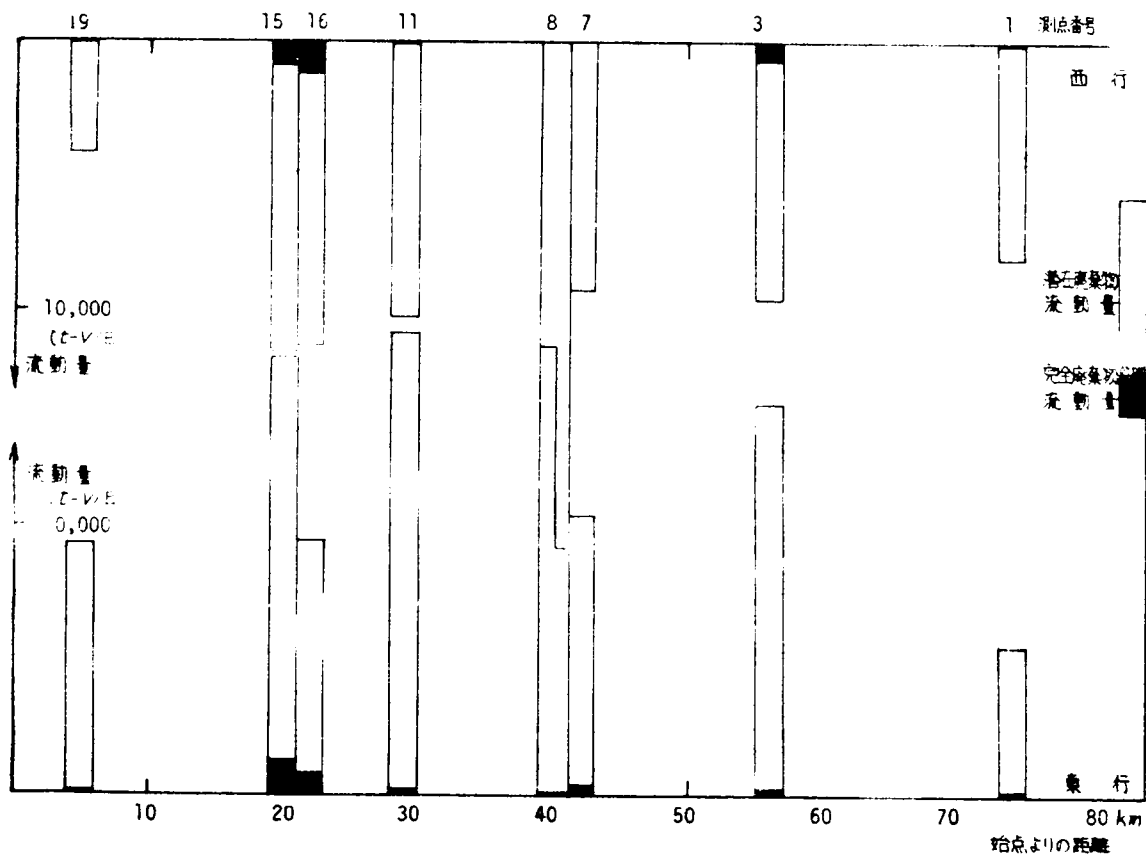
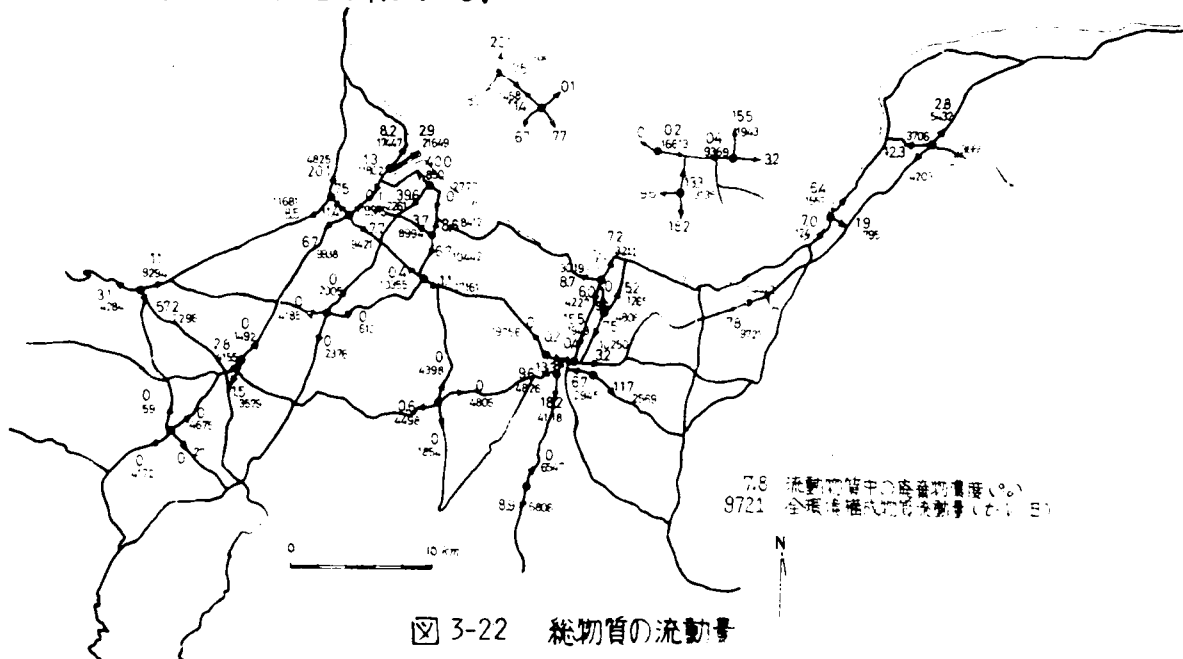


図3-23 主軸上の流動量(国道8号線)

流動物質中の廃棄物濃度は主要幹線を含めて全般的に高くなく、ほとんどの地点で10%以下を示している。図 3-22 において、40%, 20%, 18% などの高い値を示す地点の大部分では、その

流動方向の近辺に都市廃棄物の焼却場や埋立地がある。富山平野に立地している事業所には原料ならびに廃物の多い一次加工型の大規模な製造業がいくつかあって、多量の産業廃棄物が発生しているにもかかわらず、阪神間地域での廃棄物濃度に比して低い値にとどまっていることは注目に値する。この理由は次のように考えるのが妥当であろう。

一般に発生した廃棄物に対しては、一つの処理ののちに、自己区域内で蓄積するか、もしくは処分のために運搬されるかのいずれかが、流動の視点からみたときに選択される。その際の価値判断を含めた検討は 7-3 でおこなうが、蓄積への配分を増加させる因子として新規に利用可能な土地空間の量があることは十分に推定される。大阪平野北西部（地域としては三宮、芦屋、伊丹、宝塚の大部分と池田、川西、豊中の一部）の平均的な人口密度は $60 \sim 70 \text{人/ha}$ であるのに対して、富山平野では $6 \sim 7 \text{人/ha}$ と低く、空間的余裕に大きな差がある。蓄積の形態はのちにかれるように、工場敷地内の貯留空地への投棄をはじめとして同一ではないが、注目している蓄積の地域的広がりによってさらに変化することだけを注意しておく。

3-3、3-4 ならびに本項の断面流動調査はいずれも、1 地点あたり 1 時間未満の測定が中心となっている。このことは、調査規模に関する種々の制約によるところが大きい。ある種の規則的な変化が、たとえば地域特性にしたがって、生じている場合には、時間の積分の過程でその変化を無視することによって得られた結論は信頼性が低く、別途に検討をおこなう必要があるといえる。規則的な変化を示す例としては、廃棄物の処理場への通過地点での完全廃棄物の流動量があげられる。

そこで、図 3-21 の二地点 A、B において早朝より約 15 時間の連続測定をおこない、その変動の概略を把握することを試みた。地点 A は富山市中心部の国道 8 号線上の交差点であって、8 号線と直交する道路は廃棄物焼却場のある市の北部に通じている。地点 B は富山市の市街地から郊外にかわる部分にある交差点で、南北方向に国道 41 号線が通っており、交差点の南西の方角に廃棄物埋立地がある。測定は各方向とも 1 回 15 分で、平均すると 2 時間に 1 回程度の測定間隔となっている。

測定値は測定時間を基準にして 1 時間あたりの流動量（時間流動量）に換算し、中間の時刻の値とした。地点 B における南方向の流動を示したのが図 3-24 であり、全環境構成物質の流動量、完全廃棄物の流動量、流動物質中の廃棄物濃度のいずれもがかなりの変動を示している。各測定値は測定時間間隔が異なるために同等とはいえないので、図の各点を結ぶ直線の下部の面積に注目して、午前 6 時より午後 9 時までの 15 時間の平均値を算定すると、それぞれ 236 t-V/hr 、 19 t-V/hr 、 10.0% という値が得られ、前二者からは 15 時間の流動量に対応する廃棄物濃度として 8.1% が得られる。15 分以上の測定時間をもつ計 9 回の測定値に対して、単純に標本偏差 σ ならびに偏差の平均値に対する比 σ/m の値を計算すると、全環境構成物質の流動量については 236 t-V/hr 、 2.67 、完全廃棄物の流動量については 26.8 t-V/hr 、 2.67 、さらに廃棄物濃度については 0.51 、 2.67 となる。

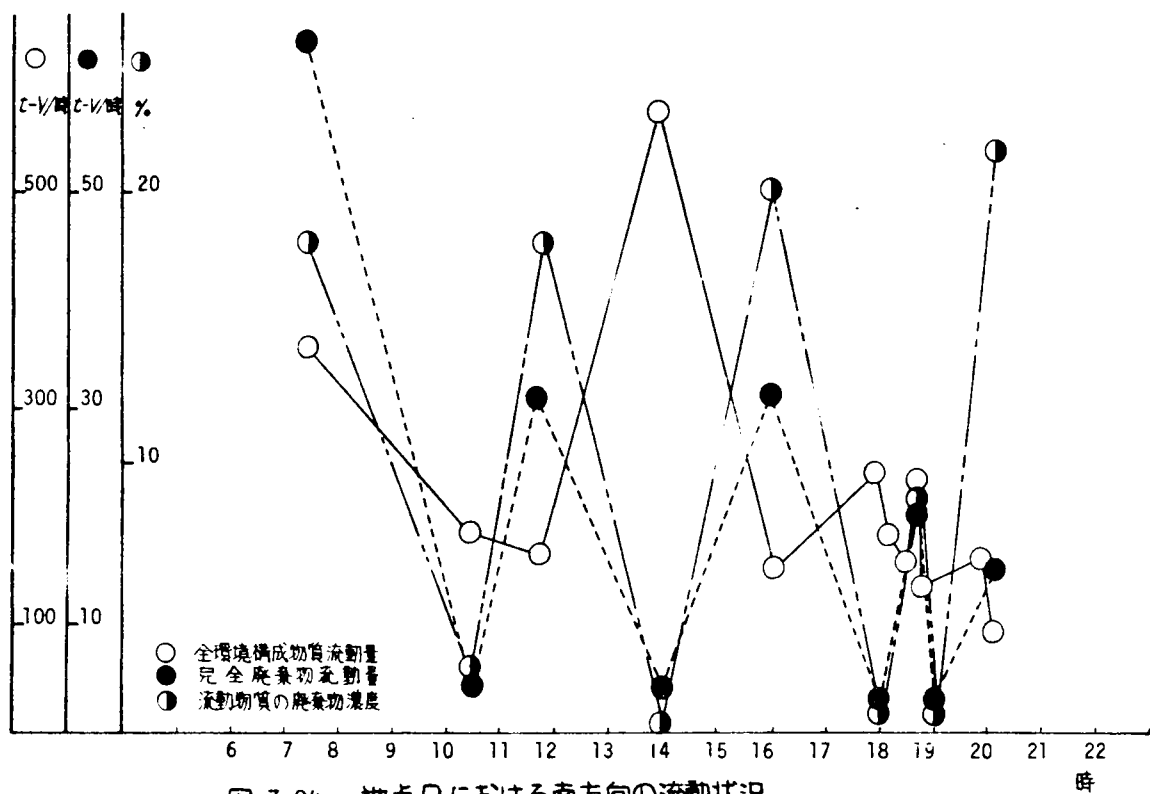


図 3-24 地点Bにおける南方向の流動状況

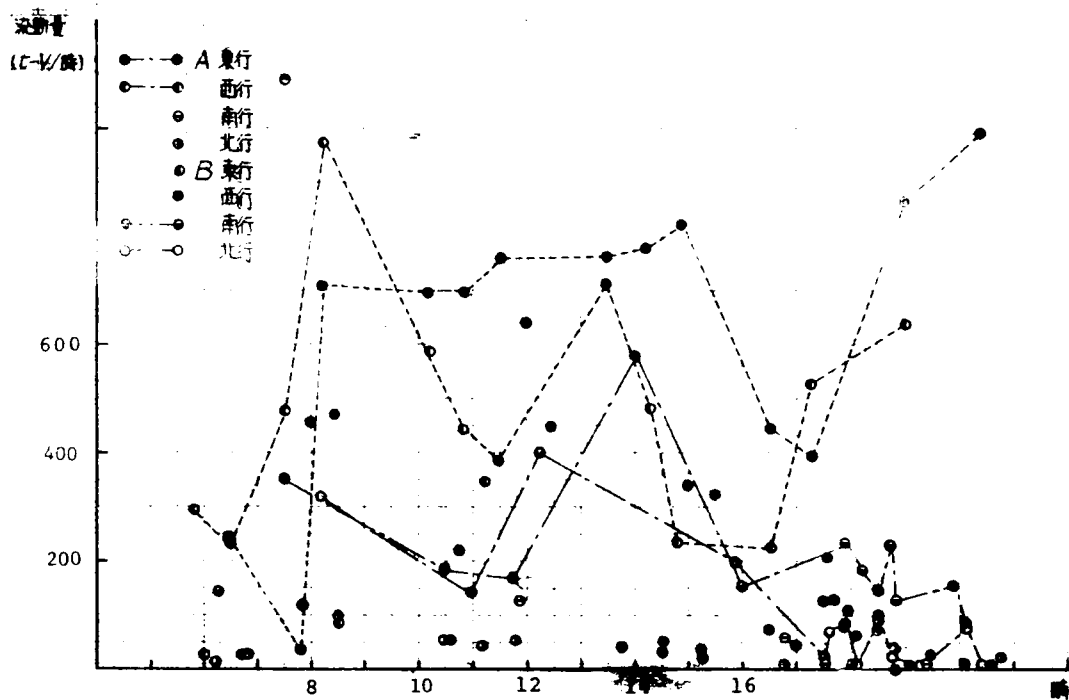


図 3-25 全環境構成物質の流動量の経時変化

二つの測定地点での全環境構成物質の流動量の経時変化を方向別に示したのが図 3-25 であり、廃棄物濃度の変動を示したのが図 3-26 である。地点 A の東西方向ならびに地点 B の南北方向の交

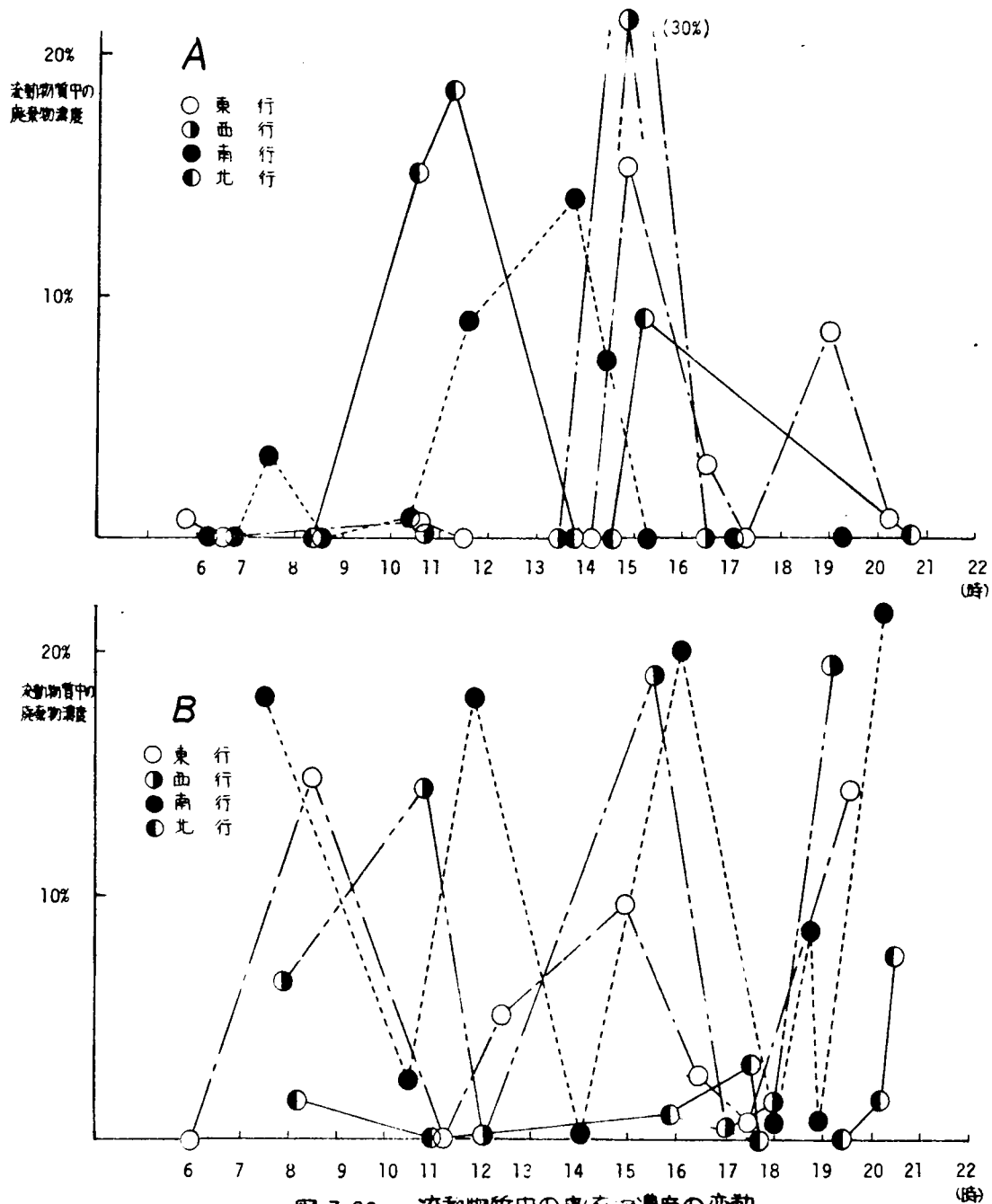


図 3-26 流動物質中の廃棄物濃度の変動

通は富山平野，さらに東日本の重要幹線であるために，早朝ならびに夜間においてもかなりの物質流動がみられる。これに対して，地点Aの南北方向は都市内の市街地道路的性格をもち，早朝（6時台）の流動量は少なく，地点Bの東方向は国道41号線よりの分岐流を受けもつもの。本来の市街地道路的特徴と離れて中間的な傾向を示している。一方，廃棄物濃度に注目すると，地点Aの南北方向で10～15時の間に10～20%の値を3回記録しており，昼間時にはその程度の値を示すものと判定しうるが，ゼロないしほとんどゼロの値を示す測定結果があることは，一回の測定時間内の流動量が過少であることによるだろう。地点Bでは南ならびに西方向の廃棄物濃度が全般に高く，

しかも、午前11時ならびに午後4時前後に潜在廃棄物の流動量が多いにもかかわらず、高い廃棄物濃度を示すことは特筆すべきことである。これは、市内中心部での諸活動の結果として生じた廃棄物を通常の作業時間のおわりに近い時間帯に集中して搬出しているためであろう。比点Aの西方向やBの北方向の廃棄物濃度の変動は相対的に小さく、とくに規則的な変動をもたない地点の平均的動向がうかがわれる。

富山平野部での全域的な物質流動の方向は東、西、南の三方向であるので、境界の測定地点での流動量のうちの通過流動量の割合を検討してみる。資料としては古いが、地域間（府県別）自動車貨物輸送量から富山県に關与する分を抜きだして示したのが表3-10である。西日本の各県から東北地方日本海側の各県への輸送量は合計650トン/日、東北地方日本海側の各県から西日本の各県への輸送量は1360トン/日であり、測定地点19.1での流動量の1~3割程度の比率である。

表 3-10 富山県域内外の輸送量

	鉄道・海運・自動車輸送			自動車輸送								
	O	I	dR/dt	O	I	dR/dt	県内輸送量	更送量 I ₁ '	通過量 I ₂ '			
農水産物	1,863	2 189	326	1,676	2,018	341	1,674	西日本より東北地方への通過量	東北地方より西日本への通過量	県内輸送量と通過量の合計（通過量に對する比）	県境よりの流出量のうち通過量の割合	県境よりの流入量のうち非通過量の割合
林産物	3,065	3,986	921	2,727	3,223	496	2,493					
鉱産物	8,992	8,383	- 610	7,980	7,713	- 268	7,695					
金属機械製品	1,615	1,534	- 81	1,215	1,224	10	1,040					
化学工業品	8,535	9,950	1,415	7,130	6,859	- 270	6,764					
軽工業品	1,733	1,271	- 462	1,271	1,068	- 203	1,046					
重工業品	784	798	14	774	783	8	680					
特種品	4,465	4,857	392	4,408	4,684	275	4,201					
その他	540	540	31	461	549	88	244					
総貨物	31,893	34,839	2,946	27,643	28,120	477	25,838	236	2283	.712	.757	

注）昭和41年度 貨物地域流動調査、(財)運輸調査局（1969）による。

3-5-2 地区別の物質流動と廃棄物濃度

富山市と高岡・新湊市が物質流動の2つの極となっていることは図3-22をみてもあきらかであるが、それらの地域を結ぶ国道8号線上の廃棄物濃度は東行1.1%、西行0.4%ときわめて低く、一方の極で発生した廃棄物が他の極へ輸送されていることは少ないことが推定される。富山平野には他にも砺波市・小矢部市などの内陸部の核と黒部市・魚津市などの沿岸都市があるが、いずれも隣接する都市の市街地が連続しておらず、農村地域が介在していることが物質の流動にも大きな影響を与えているものと推定される。

そこで、対象地域をいくつかの地区に分割して、地区内ならびに地区間の流動を検討してみることにする。地域の分割についても検討すべきいくつかの点があるが、7-4-1にゆずり、ここでは7-3-2の廃棄物の地域配分の際の分割例を用いる。ただ、地区Ⅰが内陸都市と沿岸都市を含み、地区Ⅵ、Ⅶが内陸部のほとんどが急峻な山地であることを留意しておくことは必要である。

図3-27は断面流動調査の結果から地区間の物質流動の状態を示したものである。境界での流動量には通過量も含まれているが、最小の距離（東西約10km）をもつ地域Ⅳにおいても先にのべたように主要幹線での廃棄物濃度が低いところから、完全廃棄物の通過流動はこの規模の地区では非常に少ないものとされる。完全廃棄物の流動量を各道路において距離 x に関して積分し、地区面積 A で割った商は、地区の単位長さの道路より単位時間あたりに運搬された廃棄物の量と深い関連をもつ。そこで、この商と地区内の主要道路の単位長さあたりの廃棄物発生量の比をとると、地区ごとに比較することとする。

$$\varepsilon = \frac{(\sum_i \int_0^{l_i} Q \, dx) / A}{(P / \sum_i l_i)} = \frac{(\sum_i \int_0^{l_i} Q \, dx)}{P \cdot b} \quad (3-30)$$

ここに、 P 、 Q は廃棄物発生量、廃棄物流動量を、 b は主要道路の単位長さあたりの地域面積すなわち地域の代表幅を意味する。

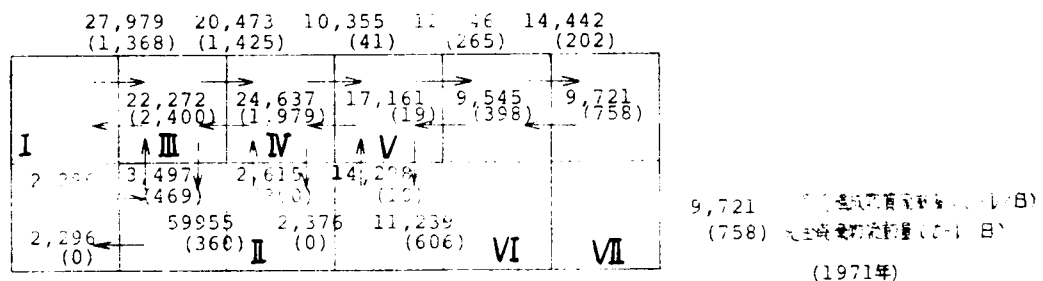


図3-27 地区間の物質流動

表3-11に、測定地点より走行方向に次の測定点との中間点まで流動量を積分した値を示す。流動量が二つの測定の間で階段状の増減をするものとした点や、都市部では交通量が比較的に道路が測定道路以外にもいくつかあることを無視している点などに問題があるが、各地区の比較をおこなってみる。まず、Ⅲ地区が無次元数 ε の値が大きいのが目立つ。Ⅰ地区の ε の値が大きいのは、数少ない測定点のうちの一点がきわめて高い廃棄物濃度を示しているのを形式的に加算したために生じているので、これを除くと平均的な値となる。発生廃棄物のうちのかなりの部分が、7-3-1で述べるように野積されているが、表3-11の結果をみるかぎりでは、野積密度（地区全面積で野積量を割った商）が高いほどと小さくなるという傾向は見い出されない。一方、流動物質中の廃棄物濃度の単純平均値を各地区ごとに比較すると、内陸部を含むⅡ、Ⅵでの値が小さくて2%前後であり、

これに対して、この地方の中核的な都市域であるⅢ、Ⅴ地区では7% 前後の値を示している。これらの値は農村地域と地方都市での廃棄物濃度のひとつの基準として考えられよう。

表 3-11 物貨流動にかかわる諸値

	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ	Ⅶ	備 考
面積 * A (km ²)	320	260	230	180	210	370	220	
道路総延長 $\sum L$ (km)	31	57	54	46	70	36	46	
b (km)		5	3	4	3	10	5	
$\sum \int_0^H Q dx$ (t・km)	15,700	1,500	34,300	19,200	17,800	9,100	7,900	P は家庭廃棄物を対象として算定している。
廃棄物発生量 P (t/日)	62.2	47.0	109.7	22.0	83.7	64.8	66.7	
E	25.2	6.4	104.2	212.4	70.9	14.0	23.7	
$\sum \int_0^H Q dx$ (t・km)	15,700	1,500	34,300	19,200	17,800	9,100	7,900	P は産業廃棄物Ⅰを対象として算定している。***
産業廃棄物発生量 P (t/日)	221	309	1,643	1,883	2,078	646	443	
E	6.9	1.1	7.5	2.6	2.9	1.4	2.0	
$\sum \int_0^H Q dx$ (t・km)	15,700	1,500	34,300	19,200	17,800	9,100	7,900	P は産業廃棄物Ⅱを対象として算定している。***
産業廃棄物発生量 P (t/日)	152	84	970	884	1,296	322	248	
E	10.0	3.9	12.7	5.6	4.6	2.7	6.7	
廃棄物発生平均 \bar{P}	%	%	7.4 %	12.5 %	6.9 %	2.3 %	5.3 %	

注) 1. $E = \sum P \cdot b$ として計算している。

* 標高 200 m 以下の土地の面積である。

** 製造業よりの発生全量である。

*** 製造業よりの廃棄物のうち、自己焼却分、回収再利用分、売却あるいは無材譲渡分と差引いた量である。

3-6 廃棄物断面流動調査の課題

3-6-1 環境調査としての廃棄物断面流動調査の課題

以上、断面流動調査の結果を解析してきたが、環境調査としてみた場合に断面流動調査に関していくつかの課題が残されている。その課題としては、i) 流動量の時間的变化をどのように把握するか、ii) 流動量測定の精度を良くすること、iii) 完全廃棄物の流動に対する評価を組み入れることそのための調査法をあきらかにすること、iv) 断面流動調査で計測された物質流動の発着点をどのように把握するのか、などの項目をあげることができる。

三つの地域で実施された断面流動調査は、全体として一地点一方向あたり 30~40 分程度の短期間の実測時間をもつにすぎず、15 時間連続測定であきらかとなった変動を考慮するとき、今後かなりの長時間にわたる連続測定を基本とするか、もしくは測定値を日あるいは月などの単位期間あたりの値に変換するための規則をみいだす必要がある。ここで、すべての地点で昼間の連続測定を実施することは困難であるので、限られた地点でのみ連続測定をおこない、大部分の地点では午前 11 時、午後 2 時、午後 4 時の 3 回の測定を実施することが一つの基準と考えられる。第 1 回目は販売する製品や仕入の資材を運搬することの多い時間帯であり、第 3 回目は 1 日の作業時間のおわりに近く、発生した廃棄物を積んでいることが多い。実測値から一日流動量への転換には、時間や全自動車台数による比例配分よりも、貨物自動車台数による比例配分をおこなう方が正確であるが、貨物自動車台数そのものが統計値として与えられていない場合も少なくない。都市形態からみた道路の類型によって、自動車の走行量は一定の日変化をおこなうと推定されるので、交通工学的な検討をあわせておこなうことが必要であろう。

断面流動調査で観測された同一地点の方向別の流動量は 20% 程度の差を示すので、もしも各方向の実測値に符号が反対であったり、10% 程度の誤差があるとすれば、地域の蓄積増加量の算定はまったく無意味なものになってしまう。これを防ぐためには、同一地点の方向別の測定は同じ時間にもしくは連続して同一調査員によっておこなうこととし、判読の基準を変えることは避けなければならない。

このような微妙なバランスの上にある断面流動調査も注意深く実施することによって、前節までに述べたように多くの示唆を含む調査結果を提供する。地域の流出入量や廃棄物濃度の分布にもとづく潜在廃棄物環境の実体の説明は、これまでに把握されている地域の特性と矛盾するものではなかった。経路、発着地点ならびに輸送量が判明しているものを対象に測定した断面流動調査の結果によってその精度はあきらかとなるが、次善の策として次のような照合をおこなう。図 3-13 で示した土砂・ガレキの流動量（断面流動調査の結果より算定）に対して、別途に質問紙調査^{*}によって把握されたところの、建設工事にともなう廃土（残土）・ガレキの発生地と処分地の分布を図 3

^{*} 125 ページの質問紙調査Ⅱ、Ⅳと同時期に実施された調査で、建設業における廃物の発生、処理、運搬、処分などについて問うたものである。文献 32) に結果が記載されている。

-28 に示す。断面流動調査の対象地域では西部地区の12，東部地区32の近くに処分地があり，このことは2つの地点の流動量が多いことと相応している。断面流動調査の結果をみると，同一地点で相反する方向にかなりの土砂・ガレキが流動しているが，図3-28においても小規模の発生地

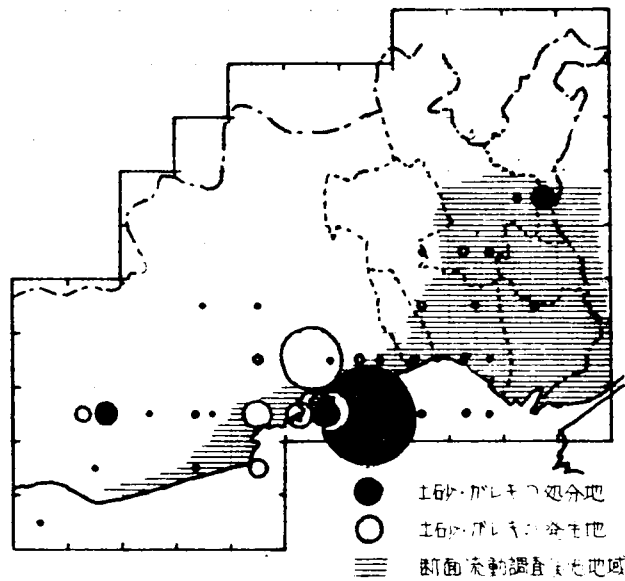


図3-28 建設業からの土砂・ガレキの運搬の実態

と処分地が混在しているようすがうかがえるので，各所で工地造成などに用いられているとの解釈ができよう。いずれにせよ，10 km 程度の運搬距離をもつ廃棄物の流動の把握には，図3-8に示した程度の測点間隔をもつ断面流動調査が相当に有効であるといえる。

断面流動調査によって直接的に潜在廃棄物環境を評価する視角は道路上の完全廃棄物の挙動にあるといえるが，その指標としての流動物質中の廃棄物濃度を計測要素としてどのように組み立ててゆくかということが大きな課題である。この場合に，環境空間としての道路上での問題として廃棄物濃度をみることに，他方では潜在廃棄物環境のフローの部分の具体的な問題として廃棄物濃度をみるという二つのアプローチがある。詳しくは6-4，7-5で検討する。ここでは，調査との関連で若干述べることにする。道路上を運搬される廃棄物が道路周辺の環境に対して与える効果は物理的なレベルのみではなく，視覚的な感情も大きい。家庭ゴミ収集車に対する住民の反応は，たとえば和田によってその一端が調べられている³³⁾が，さらに廃棄物濃度との関連で感情や反応としての行動のパターンを把握することが必要である。これらのことから，環境に与える完全廃棄物の影響に留意しながら実施する断面流動調査においては，次の項目を測定することが望ましいであろう。廃棄物の種類だけでなく，処理処分の過程での位置あるいは処理処分の難易度ならびに視覚的な輸送の形態に注目するのである。この場合には調査員一人で受けもつのは困難となるので，ビデオテープレコーダーと目測を兼用して二人一組で調査をおこなうのがよいであろう。

地域的流動に注目した理由を再び整理してみると，i) 場所的变化は物質流動の重要要素である，ii) 地域空間で環境に影響を与える独自の段階である，iii) 環境サイクルを新たに構成する場合に人工システムのフローとしてあらわれる，という三点であり，断面流動調査はそれぞれに關して有

効であるが、それによってはあきらかにされない部分も少なからずある。そこで、断面流動調査と平行して、今後試みられるべきアプローチをひとつ提示しておくこととするが、その具体性、有効性についての検討は十分ではない。

断面流動調査の基本的な性格に起因して、生産あるいは消費過程、つまりいろいろの段階の全方向への輸送が積分されて表現されている。前節までに述べたように有用期間別の種類別の流動を把握するというような工夫によって、その積分前の姿が一部分はあきらかとなっているが、方向を問うことを含めて、これ以上に構造を詳細に追究することは困難である。そこで、一定の発生源から指標物質に印をつけて、物質の流れをチェックすることに相応する「発生源からの移動調査」と試みることがよい。人生サイクルに沿う物の流れは流通と称されており、消費単位以前の流通は流通統計を整備することでかなりの程度まであきらかになるが、廃用後の動きを含めたモデル地域での流動の追跡調査は新たな知見を提供するであろう。アメリカで構想されている実験都市³⁴⁾と同様の性格をもつ調査地域を選択できれば、実験的な調査も実行できると考えられる。

潜在廃棄物環境において顕在化した完全廃棄物もまた、形をかえていずれかの場所に移動するのであるから、地域的流動は廃棄物の処分地ならびに処分の機能との関連を評価される必要がある。この点では、廃棄物が処理・処分地に到る場所的な流動をおこなう際の経路の実態をあきらかにして、都市代謝の面からいくつかのパターンを決めてゆくことがその第一歩として重要であろう。7-5では廃棄物濃度を指標としてア priori に定めた流動に対する検討をおこなうが、実際の地域で廃棄物輸送にともなう流動を詳しく観察することがなされなければならない。

3-6-2 廃棄物断面流動調査により把握された環境の構造に関する課題

断面流動調査により把握しようと試みた潜在廃棄物の場所的構造については、7-6でさらに検討を加える廃棄物濃度の経時変化のような小さい時間スケールの流動と、拡散係数 D やスプロール速度のような都市の膨張を意味する長期間の流動とを含んでいる。日オーダー以下の流動の検討は、顕在化した廃物の挙動という点から、潜在廃棄物環境の構造をあきらかにするのに寄与した。流動物質中の廃棄物濃度が廃棄物処理場のある近辺で高く、また超過密地域から周辺部分への流れが観察され、この完全廃棄物の流れが環境の劣化を促していることがうかがわれた。完全廃棄物の道路上の流動そのものについては、本章での検討によって比較的明確になっており、廃棄物輸送による廃棄物濃度の制御問題へと議論を進めることができるであろう。

他方、長期間の流動を断面流動調査の結果から透視して、潜在廃棄物環境の構造を把握することは簡単ではない。このことは、3-6-1で述べた調査法自身についての課題も関係しているが、本項では環境構造を解析してゆく上での課題について述べることにする。検討する項目は、i) 地域特性と ρ , ϵ などの指標との関係、ii) 潜在廃棄物環境の経年変化と流入量の有用期間別構成との関

係、iii) 流動量と潜在廃棄物現存量の関係、などについてである。

断面流動調査で得られた地域内外の流入、流出量の差が実質的な蓄積現存量の増加分であるとは断定できないが、密接な関係をもつ、道路を経由する分による増加分の第一次近似量とすることは許容される。3-3、3-4、3-5で検討した三つの大きさの異なる地域の調査例では、完全廃棄物を除いた自動車輸送量の実測値をもとに、松原市域で約 +100 t-V/日、阪神間地域東部地区、西部地区でそれぞれ約 -12,200 t-V/日、-18,500 t-V/日、さらに富山平野部では約 +4,700 t-V/日なる蓄積増加量が得られているが、阪神間地域ではとくに船舶輸送による効果が大きいことについてはすでに述べた。潜在廃棄物の蓄積関与率 μ は、上記区域の順に +0.35%、-5.9%、-13.5%、+19.2%となっているが、これらの数値をはじめとして、断面流動調査の特性を示す面積・道路延長比や道路延長・測点比ならびに無次元数 ϵ の値を比較することによって、地域的な物質流動の巨視的な形態の判定をおこなうことが一つの重要な課題となっている。ただし、環境調査としての断面流動調査法自身にかかわる指標と、潜在廃棄物環境としての実空間（地域空間）の特性にかかわる指標と、潜在廃棄物環境の代謝・流動の特性にかかわる指標とを区分して別途に検討しなければならない。さらに、完全廃棄物の流動量に対して無次元数 ϵ の値を3-5-2で算定しておいたが、これは自らの廃棄物の発生量と他の場所からの分も含む流動量によって定まるので、都市域のなかでその区域が代謝の経路上にしめる位置と深い関係があるものと考えられる。

道路上の潜在廃棄物の流動量を種類別に、あるいは有用期間別に検討することは、主として阪神間地域を対象としておこなった。種類別にすることの意味は、三つの環境調査に共通している指標物質の流動・代謝を把握することにもあるが、この点では鉄きはじめとして定量的な解読に終っている点で強い。表3-6に示した各分類ごとに総物質について述べた結果に比べると数倍の測定時間、それゆえに調査規模を必要とする。あらかじめ指標物質を選出し、三つの調査あるいはその機能が同じである他の環境調査を同じ対象地域で実施し、定めた指標物質のみに注目するアプローチも必要であるが、この場合に断面流動調査が適切な調査法であるとは断定できない。それと平行して、種類別の流動量の絶対値と総物質にしめる割合の定量的取扱いを通じて、3-4-1で述べたように種類別の物質の流動特性をいさ少し一般化することを試みるべきであろう。有用期間別の流動量の検討は潜在廃棄物環境の代謝、なかんずく蓄積現存量の増加という点からおこなわれ、その有用期間別の分布はかなり明らかにされたといえる。3-3-1では地域への実質流入量の有用期間を積分軸とした一、二重積分の値を蓄積現存量の動向をあらわす指標としたが、次の課題としては、いくつかの都市を対象としてその値を計算し、都市の成長・成熟の過程と関連づけることが必要である。ちなみに、末石⁴⁵⁾はこのような考え方にもとづく都市の成長が人口の質的流動に投影されるものとして、潜在廃棄物の飽和と容量の概念に一つの定式化をおこなっている。これらの検討を通じて将来的には、種類別あるいは有用期間別の流動物質の構成が、潜在廃棄物現存量の種類別、有

用期間別（あるいは残存効用期間別）の構成とどのような関係にあるのかを解析することが重要課題である。

阪神間地域の一次元解析ならびに富山平野部での地区別の物質流動の検討によって、初歩的ではあるが、完全廃棄物の蓄積をはじめとする潜在廃棄物環境の地区別の比較がおこなわれ、一次元解析の際の横からの流出入については、対象地域の性格によって無視できない場合もあることを述べた。物理的挙動を示す通常の流体と異なって検証することは困難であるが、主要な道路に沿って浸透する物質速度 u も関連しているので、適当な地域を対象として主軸に直交する流れをも逐一測定することが必要といえる。

多くの地区ごとに流動量を検討するには相応の測定地点が必要であり、さらに流動量を用いて6-4に示すように蓄積・代謝・流動の相互関係を定量的に考察するには、複数回の測定を実施して精度の高い値を得ることが望ましい。このことは拡散の概念による二次元解析にもあてはまるが、潜在廃棄物環境の地域的スプロールについては、さらに都市の形態、歴史などについて理論的な考察を一方で展開することが不可欠である。航空写真調査などによって潜在廃棄物の現存の境界（厳密には現存密度の急変する境界）の経年変化を把握し、これと断面流動調査の結果による考察とを照合することがまずは必要であろう。

3-4-3では一次元の収支式を変形して、潜在廃棄物環境の経年的な傾向を解析する手続きを示した。そこで述べた例の値そのものは信頼できないが、動的な展開のための基礎にはなるであろう。マクロな移動速度 u が潜在廃棄物環境の一次元的な膨張を意味するところから、生産の中心地から消費地にむかう放射状の地域のうちで横からの流出入の少ない地域を選択して、より精密な断面流動調査を実施することが必要と考えられる。いずれにせよ、図解法による解析においても、 u の初期値は与えねばならないので、測定値にはかなりの精度が必要である。

加えて、一次元収支式(3-15)において c の具体的な値を提示することが是非必要である。流動量 Q を断面流動調査で測定される方向別流動量の差として固定するならば、 $cu = Q$ であるから、 c と u とは相互依存的な関係にある。3-4-3では潜在廃棄物現存量であるとしており、そのかぎりにおいて、 u は式(2-17)の代謝係数 K と同じ機能をもつものといえる。このことから、現存量を何らかの方法でもとめ、その値で流動量の差（向きにより符号がつく。）を除して u を決定することが考えられる。図3-29に、断面流動調査の淵底周辺の夫工地表面率と流動物質中の廃棄物濃度との関連を示すが、初歩的な試みの結果からわかるように、 c として算定する現存量の場所的範囲、境界が確定できないことが大きな問題である。すなわち、人間の通常目では不均一にみえる空間をどのように区切るべきなのかを考察することが急務の課題である。もし、図3-29と同様な表現によって、潜在廃棄物現存量と流動量との関係が、ある適当な地域規模のもとで、明瞭となれば、 c と Q の値から u を決定することもできよう。

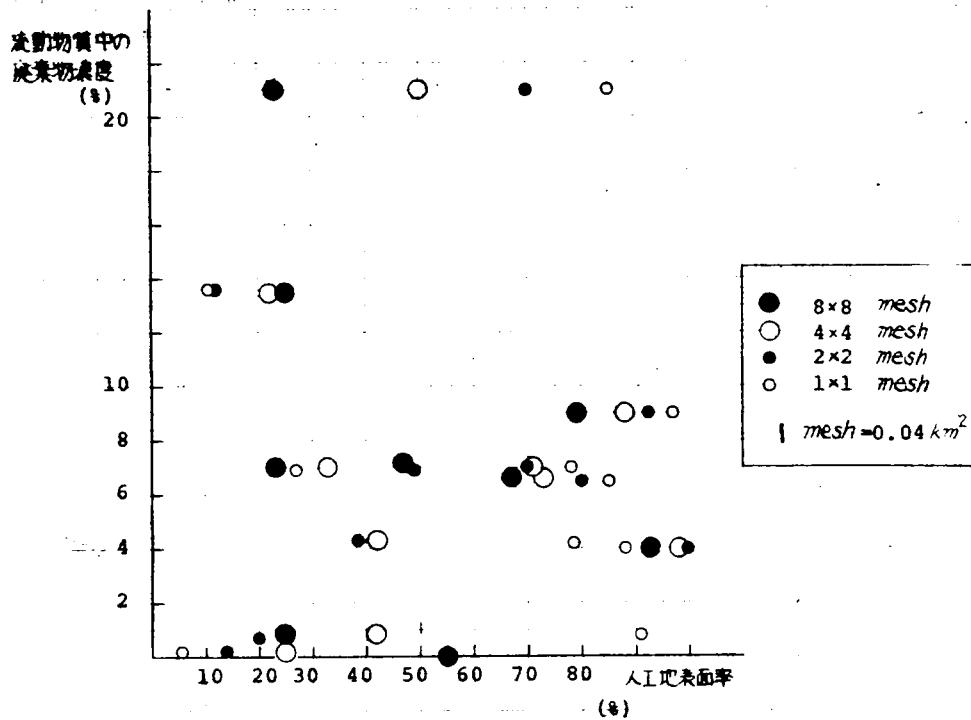


図 3-29 人工地表面率と流動物質中の廃棄物濃度との関係 (例)

第4章 航空写真調査を中心とした 潜在廃棄物の現存特性に関する研究

4-1 概説

本章では潜在廃棄物の現存量の把握と潜在廃棄物環境の直接的評価を目的として、航空写真調査をとりあげる。まず、潜在廃棄物の現存量を把握する上での航空写真の有効性について検討し、潜在廃棄物環境の解析のための調査としての位置づけについて述べる。航空写真は工学の分野で広範に用いられており、かなりの研究成果の蓄積がある。このうち、環境科学への適用という面に限定して、航空写真をもちいた従来の研究について概括する。ついで、航空写真の光学的分析方法についてふれ、地上の物体と土地利用形態が航空写真の分析から得られる情報によって同定される経過についてのべる。航空写真の各地点の情報を色度図上で表現することを通じて潜在廃棄物の現存量を算定する試みを提示し、その算定例についても述べる。潜在廃棄物のうちで最も量の多い建築物については、統計資料を用いて現存量や代謝量を算定し、これらと航空写真情報との関係について検討する。最後に、航空写真調査の課題についても言及する。

4-2-1 では、人間の目による環境の観察では得られないところの仮象*の固定という機能にもとづいて、航空写真調査を環境調査として位置づけていることに関して、本研究としての立場を明らかにし、4-2-2 では、環境科学からみた航空写真を用いた従来の研究についても比較、検討する。

4-3-1 では、カラー写真の各部分からの反射光を光学分析して得られる写真濃度ならびに三刺激値と地上の物体あるいは土地利用形態との対応関係を明らかにすることを試みる。ついで、サンプル写真の照射面積の大きさが測定値に与える影響を知るために、3種のスリットに対する等色等表色系の指標値の比較をおこなう。ついで、波長に関するスペクトル三刺激値の積分操作によって、二つの色を同時に照射する場合の累積効果について検討する。さらに CIE 色度図上で地上物体ならびに土地利用形態ごとの分布を示し、それらの種類を分離して判読することの可能性について検討する。

4-3-2 では、地上からの写真をもとに潜在廃棄物環境から完全廃棄物と確認する方法を検討したのちに、同じ原理にもとづいて目測で完全廃棄物と確認し、それらの種類と蓄積量、ならびに蓄積場所について考察する。加えて、ビデオテープレコーダーを用いて鉄道沿線の完全廃棄物の蓄積状況を調査した事例について検討をおこなう。

4-3-3 では、廃棄物による環境汚染の顕在化が航空写真によって把握されることを、水汚染と土地への固体廃棄物の投棄を例に示し、潜在廃棄物環境の直接的評価が航空写真調査によって可能とすることのべる。

4-4-1 では、マイクロフォトメーターを用いて得られた写真面の走行データ**から、地上物体な

* 実在の反映としての仮象であるから、航空写真に写しだされたものは実在のすべての面とあらわしているわけではない。

** マイクロフォトメータの構造上、受光部を固定して写真面を移動させている。

らびに土地利用形態を同定し、潜在廃棄物量を算定する手続きについて具体的な展開をおこなう。潜在廃棄物の算定例を示すとともに、その算定値の信頼を高めるための若干の検討をおこなう。

4-4-2 では、比較的其他の物質に立って代謝がなされている建物について別途に検討を加える。建物代謝の結果ともいえる滅失量の動向について述べたあと、潜在廃棄物現存量の把握の一環として建物資材の蓄積量の算定を試みる。用途地域別にその蓄積量を比較し、確率分布関数によって滅失過程を表現し、建築後の経過年数をもとに街区としての老朽度を判定することを通じて、地域的レベルでの代謝を検討する。

4-5-1 では、主としてマイクロフォトメーターを用いた写真の光学的分析に関しての改善すべき点を含めて、結論的な見解を示すとともに、写真の撮影方法、写真の焼付などについても必要な検討をおこなう。さらに、潜在廃棄物の現存量の把握に有効な他の調査法についても言及する。

4-5-2 では、航空写真調査をもろいた潜在廃棄物環境の解析に関して、今後の研究課題に小れておく。

4-2 航空写真調査の意義とその環境科学への適用

4-2-1 航空写真調査の意義

航空写真は地形測量にもちいられるのをはじめとして、波の観測、海域の汚染調査、土地利用調査などの数多くの用途をもっている。しかも最近では、航空写真を観察することによって概略的な情報を得ることにとどまらず、目的意識的にある種の情報を抜き出して定量的把握をおこなおうとする傾向が強くなっている。定量的な取扱いとしては、立体測量によって標高を決定する事例が最もプリミティブなものであるが、最近では光学的分析をとともなう応用例が多い。地域の観察のための写真の代表的なものとして、都市計画の資料として撮影された写真で、地図よりも細部まで詳しく観察でき、しかも全体と関連させた統合的な把握が可能である。

都市部を撮影した航空写真には、都市の混雑が代表される醜悪な姿が写しだされることが多い。なかでも、住宅密集地区のなかには、変色した屋根のすきまをぬって曲がりくねった路地が走り、ほとんどオープンスペースらしきものがないといった姿を呈している場合も多い。中小の事業所の混在する工住混合地域では、産業系廃棄物が放置されているのが見られ、環境を確実に悪化させていることもよくわかる。緑地の不足もはなはだしく、まれに存在する樹木も小規模なものに限られている。

このような視覚的認識は、街区を注意深く観察しながら踏査することによっても、当然得られる。建物と建物との間に積まれた古木材、街路の一部を占拠した家庭ゴミ、空地に棄てられた耐久消費材やガレキなどは、水質汚染、大気汚染などとは異った形で環境を破壊している。しかし、散在する固体廃棄物を評価することの困難さは、単に定量的取扱の困難さにとどまらず、定量的取扱の可能な因子を見出すことの困難にあるといえる。本研究の初期段階においては、路上より水平写真を撮影し、単に視覚によるだけでなく記録のともなった資料をもとづいて確認する確率を、その因子の候補としてとりあげることと考える。のちほど述べるように、水平写真は航空写真と組みあわせるときに極めて有効な手段となる。

航空写真を用いた環境調査に期待されたのは、個々の固体廃棄物の一般的な環境に対する汚染的危険を評価することではなくて、完全廃棄物と潜在廃棄物が結合しあって存在している形態をなんらかの環境因子で表現することである。それは環境の直接評価の一種ではあるが、単純な「閾値理論」*にもとづくものでは決していない。具体的には潜在廃棄物ならびに完全廃棄物からなる環境構成物質の質的階層別の分布量をもとめることに結びついてゆき、それをもとにして環境のもつポテンシャルの計画を指向する。航空写真調査の意義は、このようにして、潜在廃棄物の現存量の決定と環境の直接評価に集約されるが、ここからはもう少し詳しく述べることにする。

潜在廃棄物によって構成されている環境の構造を把握する際に、まず重要と考えられる因子は構

* 一定の基準値とこえる濃度は悪いというような論理を意味する。

成物質の年齢である*。年齢あるいは老朽度は質問紙調査によっても知ることは可能であるが、連続で広い地域を対象とするアプローチでは、方法論的に困難な面があるといえる。航空写真による環境構成物質の年齢の判断は基本的に二つの方法に依る。ひとつは、複数の航空写真を用い、一方を基準年($t=0$)のものとした場合の相対的な変化量を知り、地上の物体の供用後の経過時間を算定するものである。環境の構成物質はとくに古い都市では長い経過時間をもつものが多く、それに相応した昔の航空写真を得ることは容易ではない。1945年以降については、数年おきに主要都市部の航空写真があり、戦後に出現した人工構造物・土地利用形態については、その期間を時間スケールとした年齢構成あるいは老朽度を決定することができる。この場合には密集地における個々の建物の建てかえよりも、新規の大規模開発や地域的な再開発を認識する分野でより有効であるので、かなり広い範囲における代謝を対象とすべきである。

他のひとつは1枚の写真から構成物質の年齢を知る方法である。放射性核種の崩壊や多くの物質の分解反応のように、経過時間によって指標値が一定の推移を示す場合には、崩壊開始時点や分解開始時点を推定する根拠は得られている。都市域での環境構成物質に係わる指標のいずれかがが上述の特性をもっている場合には、1枚の写真から概略的な年齢を知ることができる。4-4で試みる、潜在廃棄物としての建物の年齢の決定は、瓦屋根の色相に時期的な特徴があることと、屋根の色の純度が時間の経過にともない減少するという特性にもとづいている。

二つの方法によって潜在廃棄物の年齢面からみた質的な階層別の現存量が得られ、断面流動調査と質問紙調査によって得られたフローの諸量と関係づけて、廃棄物環境の解析ならびに計画化にむけた考察をおこなうことが、本研究着手の重要な観点であることはすでに述べた。しかし、潜在廃棄物の質的側面は、供用開始後の経過時間のみで説明されるものではない。いくつかの指標にもとづいた分析によってあきらかにされる。物体の場所的な広がりには、たとえば、たとえば潜在廃棄物の密度といった指標が重要であり、環境構成物質の供用時の用途に注目する場合には、機能的な意味を内包する指標が重要な位置をしめるであろう。このように、潜在廃棄物の特性も、地域レベルでは一般の地域計画と同様に、数多くの指標によって表現することが妥当であると考えられるが、写真を用いたアプローチは、地域の面的・定量的観察によって、定量化された指標値の分布と面的な位置との関係を見出す上で大きな寄与をする点で意義深い。たとえば、潜在廃棄物の年齢構成や密度の二次元平面のパターンは、地域をあるメッシュに切った場合のおのおのにおける指標値の相関係数の算定や、隣接するメッシュ間関係による選別をともなったパターン認識などによって表現されるであろう。

環境構成物質の質的側面のなかでも、直接に環境自身の質(environmental quality)をあらわしている指標が知られているとすると、その指標の値を算定することは環境の直接評価をおこなうこ

* 構成物質の年齢とは、その物質の供用が開始されて以後の経過期間を意味する。

とに相当する。水系や大気が対象である場合には、汚濁物質特有のスペクトル吸収によって、写真面の特定のスペクトル反射率が汚濁物質と対応することがあり、直接評価が可能であることも少なくない。種類の多い固体を含む人工環境系においては、環境の支配的評価因子を決定することは一般的には簡単ではないが、緑地の機能に注目する場合の緑被度（公園・緑地というレベルよりもミクロなレベルである。）とか、防災上の避難空間という点からみたオープンスペース率、あるいは騒音の影響からみた「主要道路からの距離」などのように、測定指標が評価因子の重要な候補であると考えられる場合もある。潜在汚染物環境に対する航空写真調査においても、直接評価という視点を積極的に組み入れることが必要であるが、まずは写真面から得られる物理量と評価因子の値との関係をあきらかにすることが課題であろう。

4-2-2 環境科学的応用面における航空写真を用いた従来の研究

すでに 1920 年代において、都市計画への航空写真の利用についての報告³⁶⁾があるが、明確に環境概念が導入されたのは 1960 年代の後半であったと考えられる。この時期には、アメリカの宇宙衛星から送られてきた地球面の写真に対して、気象観測や軍事目的だけではなく、地球のマクロな環境を把握することがおこなわれはじめた。一方、は、航空機より撮影したパンクロ、カラー、赤外、赤外カラーなどの各種の写真を用いて、環境因子としての地上の形態を判定する試みも多くなってきた。しかも、時を同じくして激しくなってきた環境破壊はこれらの航空写真には如実に写しだされており、その観察に対して科学的取扱いが要求された。

赤外カラー写真が森林や緑地を他の土地利用から識別する上で有効であるという段階にとどまらず、近赤外部において緑色植物に含まれているクロロフィルが特異な吸収を示すことを利用し、植物の活力を把握するという環境の構造的解析へと発展したのがその特徴的な例である。温熱廃水の河海への放流状態も、赤外部での木の吸収特性が水温によってどのように変化するかをあらかじめ検討しておくことによって、温度分布として、赤外または赤外カラー写真より把握される。

地上の物体が太陽光線を受けて、固有のスペクトル反射特性にもとづいて反射する光が写真面で捕束されるという統一的認識が形成され、ついで、個々の環境変化がもたらすスペクトル反射特性の変化の検討へと進められる。この段階になると、カラー写真の印画に焼きつける際の妨害を考慮して、カメラ部の受光部分でスペクトルバンド別に電気信号化するマルチバンドシステムが採用される。しかし、マルチバンドシステムは、その簡略的方法である 4 チャンネル・マルチスペクトラルシステムにおいても、相当高価なカメラと再生器を必要とする。マルチバンドシステムでは一つの被写体からかなり多量の情報が自動的に得られるので、生データの加工の手続きをも検討する必要がある試行的研究に対しては、一種の情報過多をもたらす危険性があることに注意したい。各種の光学フィルターの効果を比較するなどして、一定の波長範囲の反射率が写真面からの情報収集の

際の基準としての性格をもつことが明らかになれば、その波長の近くで透過率が高いフィルターを付属させることによって、単独のカメラ撮影でもマルチバンドシステムの目的のかなりの部分を果すことができる。

環境科学との関連を有する範囲で、従来の研究を対象によって分けると、次の分野があげられる。表面土壌などの土質分野、植物をはじめとする農業、林業分野、河川や海岸などの水工分野、水質汚染の分野、大気汚染の分野、さらに都市計画の分野などである。それぞれの分野について研究例と若干の批判を述べる。

アポロ衛星から撮影した写真をもちいて、Robert K. Holz と Robert E. Boyer は種々の検討をおこなっているが、土壌に関しても判別をしておき、テキサス州ダラス周辺を対象として 13 の種類にわけている。³⁷⁾

農業、林業分野では緑色植物が被写体であることが多いので、その吸収特性によって赤外あるいは赤外カラー写真が用いられている研究例が支配的(マルチスペクトラルシステムで赤外部を観察するものも含む)である。Robert J. Reimond, John L. Gallagher ならびに Donald E. Thompson は感潮部の沼地での一次生産量の測定にリモートセンシング技術を応用している。赤外カラー写真と 4 つのスペクトルバンドの熱映像を用いて、ジョージア州の小島の対象地域の植生を 6 つに分類し、それらの分布と面積から植物現存量を決定している。³⁸⁾ Leonard A. Leschack は、赤、青、緑のフィルターをもつマイクロデンシトメーターを用いて、森林の赤外カラー写真を分析し、写真面の走行値のパワースペクトルから植生を決定している。³⁹⁾ この研究では、50 m × 50 m のメッシュ地域ごとにパワースペクトルをもとめて、それを指標にして樹種の同定をおこなっている点が特に、である。Edward Yost と Sondra Wenderoth は赤外カラー写真と multispectral additive color を用いて、アルファルファ、とうもろこし、トマトなどの農作物や、かし、ハンの木、松、もみなどの樹木の色度図上の分布を示している。⁴⁰⁾ また、彼らは 4 つのフィルター、レンズを装備するカメラ Multispectral Camera と Multispectral additive color viewer と称される画像再生器をもちいて、落葉樹のうちの枯れつつあるもの、すでに枯れたものを分別している。⁴¹⁾ H. Kenneweg, Freiburg と W. Tzschupke Freiburg もそれぞれ、赤外カラー写真を写真濃度計で分析し、色度図上に表現することによって森林の活力を判定している^{42), 43)} が、異った樹木の場合には修正が必要であることはいうまでもない。

水工分野の研究においても、航空写真を実態の観察に用いるというタイプのものが多いが、その一例としては、河川を撮影した航空写真(70 mm ステレオカラーならびに赤外カラー写真)から排水口、放流地点を見出している報告⁴⁴⁾がある。Robert H. L. Howe は水文学の分野における航空写真の利用について紹介し、とくに、降雨流出量に大きな影響を与える滞水構造部分(water-bearing formations)の分布状態を航空写真を用いて把握できることを述べている。⁴⁵⁾ 寺西は、雨水流出量を

算定する過程で地表面の工種を分類してそれぞれの面積をもとめ、数年間の間に市街地の流出率が急激に大きくなっていることを示している。⁴⁶⁾ 微小面写真濃度分析装置をもちいて、パンクロあるいはカラー写真の反射率に対して判定基準を設定して、地表面の同定をおこなっている。

水質汚染の監視においては、とくに赤外部の波長に注目した映像システムが有効である。Janice M. Whipple は赤外部のスキャン型センサーを用いて、映像をビデオテープに記録し、汚濁物質もしくは熱の混入による温度変化を検知している。⁴⁷⁾ 同じような目的の研究は日本国内を含めて多くなされているが、実際の水温もしくは汚濁物質濃度との対応関係についてはかならずしも確立されているとはいえない。ひとつの試みとしては、ニューヨーク州のオネーダ湖への流入水の拡がりに対してリモート・センシング技術を適用し、浮遊性物質の濃度分布を得ている研究がある。⁴⁸⁾

大気汚染の監視においては、汚染物質に特有の吸収特性を示す波長部分で受光し、その光量から汚染物質濃度を決定する方法をとっていることが支配的であるが、その場合には吸収効果が積分されることに注意しなければならない。特異な汚染物質の監視は、排出源が限定されるので、特定の工場の煙突のみが注目されることになる。S.A. Veress は航空写真を用いて、煙突からのアリュームの拡散を定量的に取扱っている。⁴⁹⁾

都市計画の分野における航空写真の利用に関しては、以上に述べた分野での物理的な対応関係に加えて、写真面から抽出された指標が計画上ではたす役割が明らかであることが必要である。この分野での特徴的な研究例をあげると、Pelmar E. Anderson と Philip N. Anderson は An Image Discrimination, Enhancement and Combination System と称する装置をもちいて、市街地面積と在住人口が指数関数にあることを検定し、自動的に人口をもとめている。⁵⁰⁾ 統計上の人口の合計 27,042 に対して、航空写真をもちいた機械的判別値の誤差は 10.8% となっている。Norman E. Green は単独住宅の全住宅に対する比率を航空写真で計測し、その値と地上実測値との相関係数として 0.98 を得ている。⁵¹⁾ また、Melville C. Branch は上空からのリモートセンシング (remote sensing) による情報を都市計画に用いる際の留意点、手法などについて詳細に論じており、付録の文献一覧は都市計画を中心に多岐にわたる分野についてまとめられたものであり、参考になる。⁵²⁾

いずれの分野においても、航空写真の分析にはコンピューターを用いることが多い。多量のデータ処理と、地上の物体ならびに土地利用形態の判定という点で共通しており、pattern recognition と computer science とが結合されて独自のアプローチもなされている。たとえば、昼夜2回の熱映像をもとに10段階の濃度表示をおこなった James D. Turinetti と Olin W. Mintzer は、10種のターゲット(2種の水面、3種の植生、5種の構築物からなる)に分別するためのモデルを作成している。⁵³⁾ しかし、計算のモデルが不十分なために正しい唯一の判定を導いたのが42%しかなく、二つの判定をおこなって一方が正しいという場合が56.5%もあるというように、まだまだ識別能力は低いといわざるを得ない。

本研究では、手法的にはマイクロフォトメーターをもちいて得た三刺激値によってカラー写真の色彩を決定し、地上の物体ならびに土地利用形態を判定しており、概念的には、環境を構成する着目廃棄物の現存を取扱っている。人間環境に関する諸問題について航空写真や各種のリモートセンシング手法を用いるにあたっては、すでに他の分野で確立されている方法であっても直接に適用しうるところだけを利用するという態度でのぞむことは、対象の特殊性にもとづいた環境調査の方法に修正してゆくことが難しいという点から判断しても好ましくない。環境という最も複雑な部類に属する対象を解析するためには、従来の手法を用いて外生的に接近するのでは不十分であり、種々の特性に則したアプローチをおこなって、従来の手法を対象のもつ構造に密着したものとして一体化してゆくことが必要である。

4-2-3 航空写真調査の方法

航空写真の撮影は区域、縮尺を調査者が与え、航測業者が天候の良い日に適切な高度より実施するのが一般である。都市部での調査ではとくに太陽の位置、雲の量が適切でないとき多くの影を生じるので、パンクロムやカラー写真の場合には時刻を任意には指定できない。すなわち、正午より隔たるにしたがい建物などの陰が大きくなって障害をもたらすので、通常は正午付近に飛行する。対象地域をいくつかの平行線に沿って飛行し、ステレオ観察をおこなう場合には写真面の重なる部分が約60%で、実体視の必要のない場合には30%程度の重なりが生じるように撮影をおこなう。リモートセンシングのうちで写真を用いる方法では、現像、焼付、引伸というプロセスがあるために途中で情報に雑音が入りやすく、それを考慮してキャリアレーションをおこなえるような操作を組み込んでおく必要がある。パンクロム写真ではグレイスケールパネル、カラー写真ではカラーパネルを地上におき、同時に撮影するという手段がとられることが多い。本論文で実施した調査ではそのような準備ができなかったため、のちに述べる三刺激値の分布をはじめとする分析結果を他の写真に適用するには補正を要する。

写真が陽画の場合には反射率、リバーサルの場合には透過率を測定することが一般である。パンクロム写真を対象とする場合にはこれまで micro densitometer (微小面写真濃度測定装置) が用いられてきたが、色彩の三要素を決定するためには波長別の反射率もしくは透過率が算出できるような装置でなければならない。その一つとして分光光度計があり、通常30か所の波長について分光反射率(または透過率)をもとめる。

スペクトル組成が $P(\lambda)$ である標準光源を照射し、被写体の反射率あるいは透過率のスペクトル特性を $r(\lambda)$ 、波長 λ の光の単位光度あたりの三刺激値を $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ とするとき、被写体の色彩は次のような三刺激値 X 、 Y 、 Z で表現される。

$$X = \left(1/K_p \right) \cdot \int (P(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda)) d\lambda \quad \Bigg|$$

$$\left. \begin{aligned} Y &= (1/K_P) \cdot \int (P(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)) d\lambda \\ Z &= (1/K_P) \cdot \int (P(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda)) d\lambda \\ K_P &= \int (P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

Yを視感反射率(luminous reflectance)または視感透過率(luminous transmittance)とよび、国際照明委員会(CIE)では、三刺激値(tristimulus value)*X, Y, Zによる表現を基準として採用している。通常は、

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (4-2)$$

のようにしてもとめた色度座標(chromaticity coordinate)の値を色度図(diagram)**上であらわすことが多い。

式(4-1)の $P(\lambda)$, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ は波長 λ のみの関数なので、 $P(\lambda) \cdot x(\lambda)$ をはじめとする $r(\lambda)$ の係数があらわす曲線が λ 軸とで囲む面積を計算し、これを X' , Y' , Z' とおけば、

$$\left. \begin{aligned} X' &= \int P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda, & Y' &= \int P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4-3)$$

となる。

この X' , Y' , Z' を30等分し、そのおのおのの面積重心の波長位置 λ' を求め、その波長 λ' における反射率 $r(\lambda')$ を加算して積をとると計算が簡単となる。すなわち、

$$\begin{aligned} X &= \sum_{\lambda'_1}^{\lambda'_{30}} r(\lambda'_1) \cdot \frac{X'}{30} = \frac{X'}{30} \sum_{\lambda'_1}^{\lambda'_{30}} r(\lambda'_1), & Y &= \sum_{\lambda'_1}^{\lambda'_{30}} r(\lambda'_1) \cdot \frac{Y'}{30} = \frac{Y'}{30} \sum_{\lambda'_1}^{\lambda'_{30}} r(\lambda'_1) \\ Z &= \sum_{\lambda'_1}^{\lambda'_{30}} r(\lambda'_1) \cdot \frac{Z'}{30} = \frac{Z'}{30} \sum_{\lambda'_1}^{\lambda'_{30}} r(\lambda'_1) \end{aligned} \quad (4-4)$$

となる。この方法を30選択座標法といい、標準光源Cを用いると、 $X'/30$, $Y'/30$, $Z'/30$ の値は、次のようになる。

$$\frac{X'}{30} = 0.03268 \quad \frac{Y'}{30} = 0.03333 \quad \frac{Z'}{30} = 0.03938 \quad (4-5)$$

この方法はかなり精密であるが、30か所の波長について測定を必要とし、三刺激値を直接に読みとるためには小型のコンピューターを専用に接続しなければならない。

そこで、上述の積分を光学系でおこなわせる方法が有望となる。すなわち、波長 λ でのスペクト

* Grassmannの法則にもあるように、適当な原料数を三つ設定するとどのような色でもつくらせる。そこでR, G, Bと称される基準刺激(reference stimuli)と線型変換してX, Y, Zという原料数を定めた。Young(1807)の仮定以来の三要素説と対応して、Yが明るさ(brightness)を、X, Zが色相と彩度を含めた色度(chromaticity)とあらわされている。この三つの原料数の混合量を三刺激値といい、Xが大きいほど赤味が強く、Zが大きいほど青味が強い。

** 正確には(chromaticity diagram)である

ル三刺激値 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ の大きさに対応した透過率を有するフィルターを検体と受光部の間に入れて、光度を測定すればよい。マイクロフォトメーター (micro photometer) は、以上の原理にもとづいて、標準サンプルで検定することによって三刺激値 X, Y, Z をもとのめるものである。

実験に用いた装置の内部の概略を図 4-1 に示す。スリットの径は 0.1 mm , 0.2 mm , 0.4 mm , 1.0 mm の 4 種で、写真を置く試料台は一軸方向に約 120 mm/分 の速度で自動走行し、それと直交する方向は手動送りとなっている。受光部で光量を微小電流に変え、ガルバノメーターで電位差とし

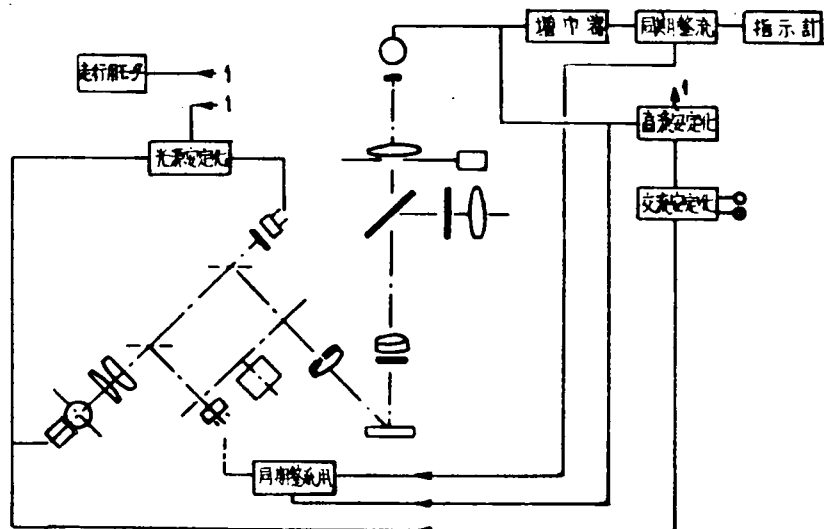


図 4-1 マイクロフォトメーターの概略

て検出するので、連続走行実験ではデータレコーダーを直結して記録するほか、直読することも可能である。なお、走行速度が大きい場合にはペンレコーダーのように応答のおそい記録計は不正確となりやすいので、測定時間を短くすることを犠牲にしても低速度を採用せざるを得ないこともある。

4-3 環境情報の収集のための二、三の実験

4-3-1 航空写真をもちいた環境情報の収集のための基礎⁵⁴⁾

赤外、パングロ、カラー、赤外カラーのいずれを用いるとしても、写真から直接得られる情報は、物理的には波長別の反射率（もしくは吸収率）とその配置に限られる。カラー写真の場合には、経験上、色の配置によって直観的に被写体の判定をおこなうことができるにもかかわらず、物理的指標値を媒介とすると単純な関係では結ばれない。白黒写真においても同様で、通常に用いられる濃度のレベルと被写体の種類は、かならずしも一対一に対応しない。そこで、地上物体ならびに土地利用形態の判定にいたる過程では、物理的指標値の単独値だけではなく、その二次元的配置に注目する必要がある。

まず、パングロの航空写真に対して、マイクロフォトメーターをもちいた実験をおこなった。フィルターは視感度補正用を使用し、Y値として算定したところ、表4-1に示す結果を得た。日陰部分をもっとも低い値を示し、これについて水面、緑地が低い。裸地が全体としては明度が高く（すなわち、Y値が大きく）、舗装道路と建築物が中間に中広く分布している。とくに、建築物についてはカラー塗装のトタン屋根が混在すると、Y値の標本分散はきわめて大きくなることが予想され、比較的瓦屋根の多い（約80%）地区の値である表4-1をみても、Y値の分散値は大きい。地上の形態のパターンを前もって与えておいて、異った地上物体、土地利用形態が同じ写真濃度の範囲にある場合に対しても分別能力を高めることは可能であるが、分散が大きいと人間の視覚に依存せざるを得ないであろう。表4-1には、Y値の平均値（標本平均）を m 、偏差（標本偏差）を σ としたときの $m-\sigma$ と $m+\sigma$ の値の範囲を物体ならびに土地利用形態別に示しており、その右欄は人

表4-1 地上物体ならびに土地利用形態のパングロ写真の濃度

(CIE 様式のY値)

	0.0~	5.0~	10.0~	15.0~	20.0~	25.0~	30.0~	35.0~	40.0~	45.0~	50.0~	Y値の平均	Y値の偏差
建築物	-	1%	1%	21%	17%	7%	9%	1%	1%	1%	-	19.0	11.0
舗装道路	-	1	8	12	17	18	14	14	10	6	-	28.9	10.0
緑地	36	42	15	-	-	1	1	-	-	-	-	7.6	5.6
裸地	-	-	1	5	17	16	24	1	8	8	6	33.0	9.5
水面	70	28	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	2.2
日陰部分	91	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	1.4
建築物	10 20 30 40				建物とその周辺の敷地、街路との組み合わせにより、Y値の分布が変動がみられる。								
舗装道路	10 20 30 40				ほとんど一定のY値が連続するが、照射面積に対して道路幅がせまいと、道路境界が不規則に示される。								
緑地	10 20 30 40				植生に応じた比較的规则正しい変化を示す。都市公園的な緑地、小規模の樹木や芝地は照射面積を小さくしないと確実が困難。								
裸地	10 20 30 40				造成中の土地はきわめて大きいY値を示すので、よく識別される。市街地の空地も長方形が多いので識別がしやすい。								
水面	10 20 30 40				最も低いY値がかなりの面積をもつてあらわれる。小さい川や池も、ほぼ一定のY値がある方向に連続するか、もしくは小さくかたまってあらわれる。								
日陰部分	10 20 30 40				建物と判定される地物の一定方面の端に連続してみだされる。周辺に高いY値をもつラインがあれば、実際には道路であることが多いので、判定と修正すべきである。								

間の視覚によって直接に判断に修正を加えてゆく際に参考とすべきパターンの特徴をまとめたものである。

ついで、カラーの航空写真をサンプルとした測定結果について述べる。マイクロフォトメーターの照射スリット径は0.4 mmであり、X、Y、Zの三刺激値を算定した。おのおのの物体ならびに土地利用形態のY値の分布は表4-2に示すとおりである。これをみると、建築物の屋根の色、すなわち瓦の色、トタンの塗料の色、スレートやコンクリートの色によってY値が大きく変化していることがうかがえる。しかし、屋根の色を4種に分割して集計をおこなうと、おのおのの偏差はいずれも相対的に小さくなっており、分別能力を高める上で注目したい。X、Zの値についても表4-2に分布を表したが、前者では赤系統の色が相対的に高い値を示し、後者では青系統の色が相対的に高い値を示すとともに、一般的にZ、Y、Xの順に小さくなっている。

表 4-2 地上物体ならびに土地利用形態のカラー写真の刺激値（Y値）

Y 値 地表種類	0.0～	5.0～	10.0～	15.0～	20.0～	25.0～	30.0～	35.0～	40.0～	45.0～	50.0～	Y値の平均	Y値の偏差
黒瓦屋根	-	26.3%	14.1%	19.3%	17.5%	7.0%	10.0%	1.8%	3.5%	-	-	18.6	9.7
赤瓦屋根	-	16.2	17.2	29.3	16.2	8.1	6.0	5.0	2.0	-	-	18.7	8.4
青瓦屋根	3.0	28.0	20.0	19.0	10.0	9.0	8.0	3.0	-	-	-	16.3	8.8
陸屋根	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
舗装道路	1.0	1.0	7.0	10.0	17.0	10.0	16.0	16.0	6.0	16.0	-	30.4	11.2
緑地	40.0	46.0	9.0	2.0	1.0	1.0	-	-	1.0	-	-	7.2	5.2
裸地	-	-	2.0	7.0	14.0	16.0	29.0	11.0	7.0	10.0	4.0	32.4	15.9
水面	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
日陰部分	88.2	11.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.6	0.9

表 4-2 地上物体ならびに土地利用形態のカラー写真の刺激値（X値、Z値）

X 値 地表種類	0.0～	5.0～	10.0～	15.0～	20.0～	25.0～	30.0～	35.0～	40.0～	45.0～	50.0～	X値の平均	X値の偏差
黒瓦屋根	-	-	18%	25%	12%	8%	5%	2%	2%	-	-	16.5	8.4
赤瓦屋根	-	14	10	30	24	10	7	3	1	1	-	20.0	7.9
青瓦屋根	4	34	35	10	10	7	-	-	-	-	-	12.7	6.3
陸屋根	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
舗装道路	1	4	8	15	17	14	17	8	16	-	-	26.7	10.2
緑地	32	52	12	2	1	-	-	1	-	-	-	7.2	4.5
裸地	-	-	2	10	18	28	20	9	7	6	-	29.6	8.1
水面	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
日陰部分	82	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.2	0.9
Z 値 地表種類	0.0～	5.0～	10.0～	15.0～	20.0～	25.0～	30.0～	35.0～	40.0～	45.0～	50.0～	Z値の平均	Z値の偏差
黒瓦屋根	-	4	21	19	23	14	11	5	2	-	2	22.0	9.2
赤瓦屋根	-	4	23	34	20	9	8	-	2	-	-	19.4	6.9
青瓦屋根	2	2	16	14	18	20	9	7	6	6	-	25.0	10.8
陸屋根	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
舗装道路	-	1	1	11	12	16	14	19	12	11	3	32.6	10.2
緑地	3	46	44	3	2	1	-	1	-	-	-	10.6	4.9
裸地	-	-	2	5	21	26	15	18	6	3	3	30.6	8.5
水面	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
日陰部分	8	88	4	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	0.7

カラー写真の色は、代表的には、CIE 表色系、等色差表色系の二つで表示されるが、まず、後者の色彩系を用いて、サンプルの照射面積の大きさが測定値に与える効果について検討する。市街地を撮影した約 1/5000 の縮尺の航空写真に対して、直径 30 mm、10 mm、5 mm の円径スリットを付属させた色差計*を用いて、等色差表色系の指標である (L , a , b) の値の組をもとめた。照射した対象地域のスケッチを図 4-2 の付図に示す。左端から右へ連続的に測定をおこない、図 4-2 のように、等色差表色系の a - b 色度図上に写真面の色彩をスリット径別に表現する。

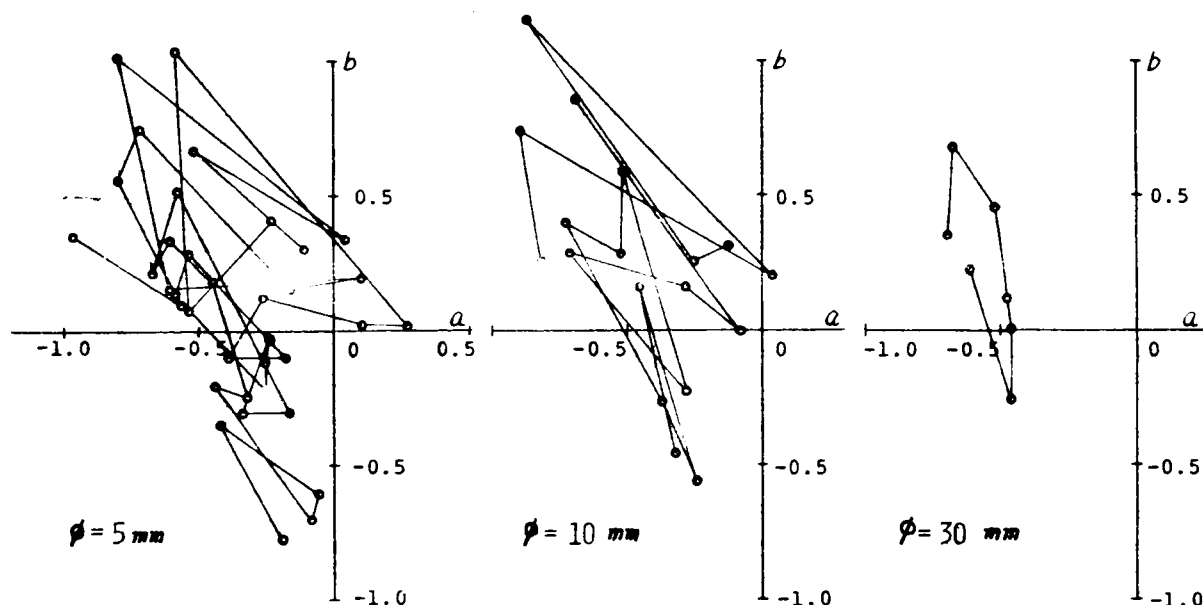
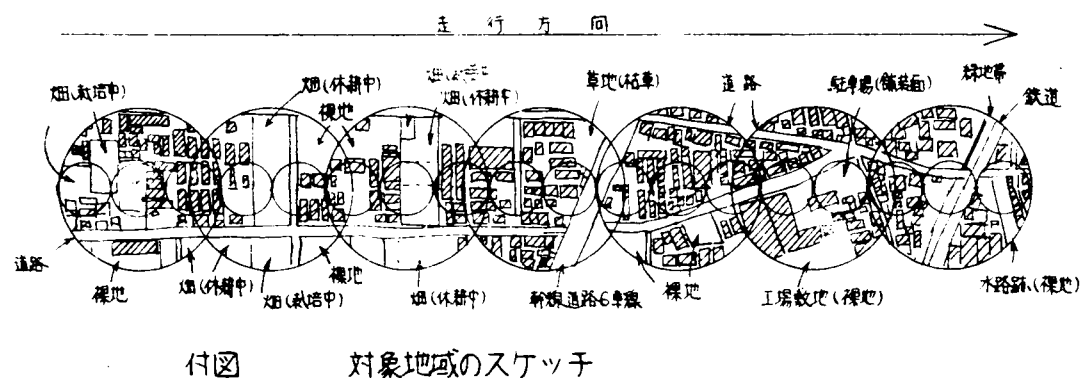


図 4-2 スリット径別の色彩表示

スリット径が大きくなるにつれて、 a - b 色度図上に表現した点の変動が小さくなり、サンプル地点間の色差 ΔE が小さくなっている。このことから、地上の物体や土地利用形態の規模と実際の照射面積とが適切に対応していないと有効な測定値が得られないことがわかる。たとえば、直径 20 m の物体を確認する目的で 1/5000 のカラー写真を直径 1 cm のスリットを用いて分析した

* 類似した色の差を等色差表色系の (L , a , b) の値で表現する。

とすると、照射面積とその物体が写真上で占める面積との比は 1 対 0.16 となり、その物体が存在することによる光学的な効果はきわめて少ない。検討をおこなった地域には青系統の色彩が多かったために、青や緑の色相部分に図上の点が集中しているが、空中での散乱効果によって波長の短い青系統の光がカメラの受光部に到達しやすいこともバックグラウンドとして留意せねばならない。

ついで、CIE 三度図上での色彩の互積効果について考察することとする。いま、面積 A_1, A_2 、波長別反射率 $r_1(\lambda), r_2(\lambda)$ の物体表面を同時に照射し、二つの物体色を合併する問題を考える。光源のスペクトル組成を $P(\lambda)$ 、波長 λ のスペクトル三刺激値を $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ とすれば、二つの色の単独の三刺激値は次のように表示される。

$$\left. \begin{aligned} X_i &= (1/K_i) \cdot \int (P(\lambda) \cdot A_i) \cdot r_i(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y_i &= (1/K_i) \cdot \int (P(\lambda) \cdot A_i) \cdot r_i(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z_i &= (1/K_i) \cdot \int (P(\lambda) \cdot A_i) \cdot r_i(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \\ K_i &= \int (P(\lambda) \cdot A_i) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4-6)$$

($i = 1, 2$)

二つの色の標準化された三刺激値を再記すれば次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} x_i &= X_i / S_i = X_i / (X_i + Y_i + Z_i) \\ y_i &= Y_i / S_i \\ z_i &= Z_i / S_i \end{aligned} \right\} \quad (4-7)$$

($i = 1, 2$)

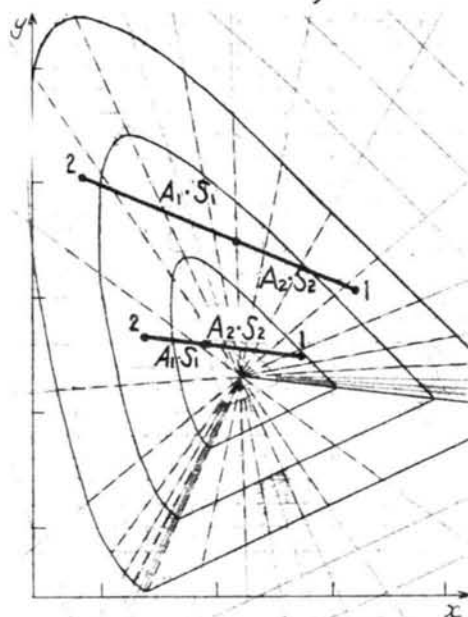
二つの色の部分を同時に照射すると、合併色の三刺激値 X_3, Y_3, Z_3 は次のように表現される。

$$\left. \begin{aligned} X_3 &= (1/K_3) \left(\int P(\lambda) \cdot A_1 \cdot r_1(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda + \int P(\lambda) \cdot A_2 \cdot r_2(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \right) \\ &= (1/K) \left(\int P(\lambda) \cdot (r_1(\lambda) \cdot A_1 + r_2(\lambda) \cdot A_2) \cdot (1/(A_1 + A_2)) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \right) \\ &= \frac{A_1}{A_1 + A_2} \cdot X_1 + \frac{A_2}{A_1 + A_2} \cdot X_2 \\ Y_3 &= \frac{A_1}{A_1 + A_2} \cdot Y_1 + \frac{A_2}{A_1 + A_2} \cdot Y_2 \\ Z_3 &= \frac{A_1}{A_1 + A_2} \cdot Z_1 + \frac{A_2}{A_1 + A_2} \cdot Z_2 \\ K_3 &= \int (P(\lambda) \cdot (A_1 + A_2) \cdot \bar{y}(\lambda)) d\lambda, \quad K = \int (P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4-8)$$

同じく標準化された三刺激値は次のとおりである。

$$x_3 = \frac{(A_1/(A_1 + A_2)) \cdot X_1 + (A_2/(A_1 + A_2)) \cdot X_2}{(A_1/(A_1 + A_2))(X_1 + Y_1 + Z_1) + (A_2/(A_1 + A_2))(X_2 + Y_2 + Z_2)} = \frac{A_1 \cdot S_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot S_2 \cdot x_2}{A_1 \cdot S_1 + A_2 \cdot S_2}$$

$$Z_3 = \frac{A_1 \cdot S_1 \cdot Z_1 + A_2 \cdot S_2 \cdot Z_2}{A_1 \cdot S_1 + A_2 \cdot S_2}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_2} &= \frac{A_2 \cdot S_2}{A_1 \cdot S_1} \\ \frac{y_1 - y_2}{y_3 - y_2} &= \frac{A_2 \cdot S_2}{A_1 \cdot S_1} \end{aligned} \right\} \quad (4-10)$$


すなわち、図 4-3 に示すように、色彩 1 と色彩 2 のそれぞれ、CIE 色度図上の点をむすんだ線分を $A_2 \cdot S_2 : A_1 \cdot S_1$ に内分する点が合併色を意味する。このことからあきらかなように、色度図の中心に対して反対側の色が写真上で混在している場合には、サンプリング面積が一定以上に大きくなると、平均化されて刺激純度が急激に減少する。そこ

表4-2(二つ)にその分布が示されているサンプルについて、CIE色度図上に表現したものが図4-4であり、地上の物体あるいは土地利用形態ごとに一定の分布範囲があるといえる。⁵⁴⁾主波長で見ると、赤瓦屋根はほぼ580-700 $m\mu$ の範囲に、裸地はほぼ540-570 $m\mu$ の範囲に、

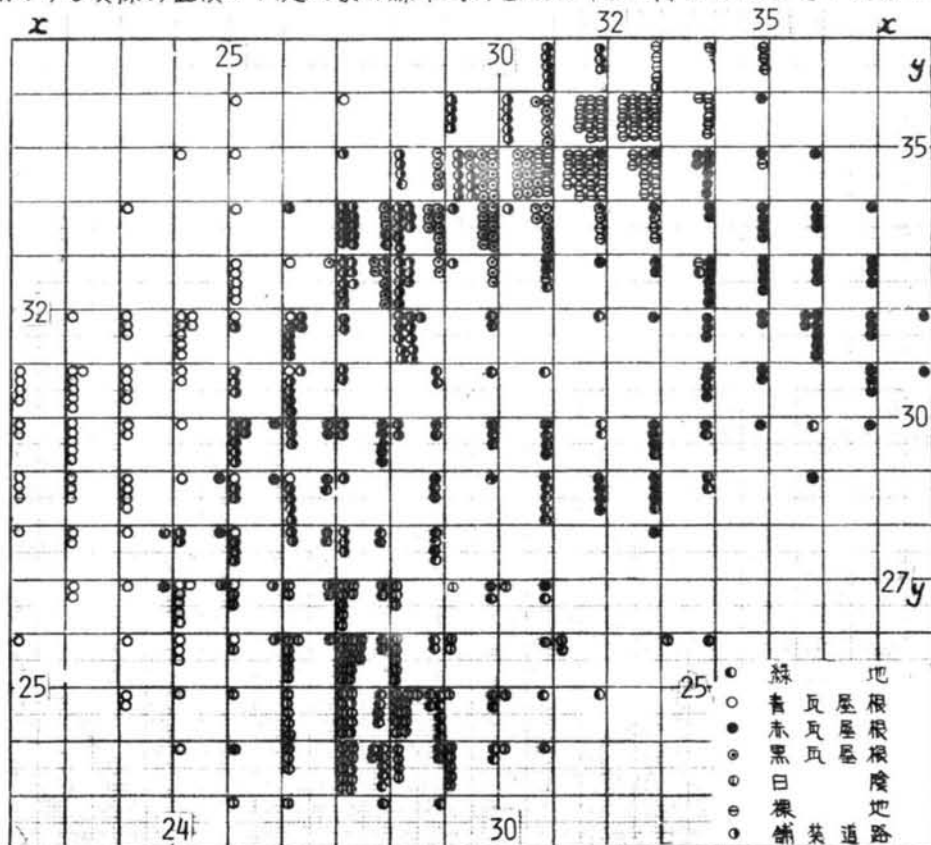


図 4-4 色度図上での地上物体ならびに土地利用形態の分布

青瓦屋根はほぼ480~500mmの範囲に、日陰はほぼ400~480mmの範囲に分布している。これに対して、緑地は撮影時期が冬であったことも関連して赤系統の主波長に相当する部分にも分布しており、さらに、舗装道路と黒瓦屋根の場合には色度図上で右上から左下へと分布していることが大きな特徴である。刺激純度は青瓦屋根のかなりの部分が15%を越えているのを除いて、0~15%の範囲に広く分布している。これらの分布をプログラム化して、地上物体と土地利用形態を固定することについてはのちに述べる。

4-3-2 地上写真を用いた環境情報の収集

地上からの写真には建物や街路の状態が細部まで写しだされているので、調査法と分析法の基準が定まるならば、環境情報の収集のきわめて有効な手段となるであろう。街路を歩きながら周辺環境を観察すると、無秩序な町の構成はともかくとして、放置された廃棄物や不要品が私的空間のなかはもちろん、公共空間にまき散らされていることが理解される。とくに、急激な開発が進行しているにもかかわらず十分な都市計画がなされていない地域や、繁華街などの超過密地域では、廃棄物によって囲まれているという実感をもたらし例がしばしばある。さらに、この程度が進行した場合には町全体が廃物化しているという印象を与える。

このような市街地環境の混雑あるいは老朽化の傾向に対して、その程度を測定しようという試みは、廃棄物環境以外の見地からもおこなわれている。たとえば、交通安全の点からは、市街地での各種信号や標識が視覚的環境の混乱、とりわけ屋外広告による妨害によって読みとりにくいという問題がある。これに対して、信号や標識の周辺の一定の視覚的ゾーンでの識別可能な物（具体的には色と形である。）の数と面積とから錯綜度という概念が提案されている。⁵⁹⁾

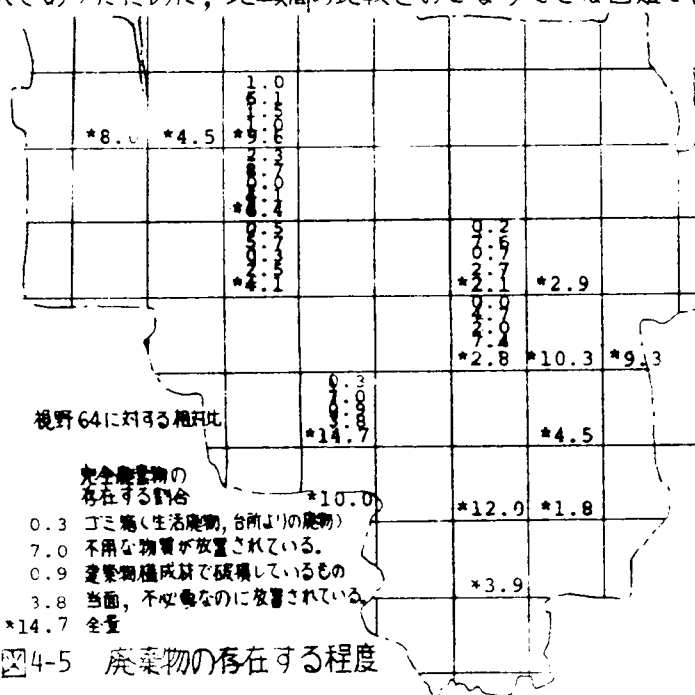
環境構成物質の老朽の程度からみても、建物のしめる位置は非常に大きい。そこで、住環境の調査と同じように、建物の老朽状態に対する判定基準を作成し、現地踏査で調査員が判定を下す方法が注目される。近藤は木造の老朽家屋の多い市街地を踏査し、建物の老朽度を検討している⁶⁰⁾が、調査にはある程度の知識と熟練が必要なようである。調査の際に注目すべき建物の部分と表4-4のようにまとめておく。

表 4-4 注目すべき建物の部分と老朽度判定の際の留意事項

建物の部分	老朽度判定の際の留意事項	建物の部分	老朽度判定の際の留意事項
とや	最も老朽が早い。大気汚染地区では金属性とやの腐食がはなはだしい。地域的な変動は大きい。同じ地区内の比較的新しい建物の判定と比較に有効。	屋	瓦屋根の色は年ごとに劣化がある。かきかえには一定の間隔があるものの、災害時を除くと、大部分は軽い修理がなされているにすぎない。変色や剥離から年齢を判定。
のき	建築後に人為的な劣化が加えられることも少ない。気候的要因の影響も少ないので、材料の物理的・化学的耐久性が直接にあらわれる。のきは観察が容易。	戸、窓	材質が建築時期によって異なることを判定に利用。増改築がおこなわれることが多いので注意が必要。
壁	建物の基礎的な構造部分であり、被災の場合を除くと、建築当初のままだることが多い。建築様式の時代的変化を判定基準とし、破損程度に注目。	基 礎	基礎部分は建物全体と寿命をともにする。モルタルのぬりかえに注意すれば、物理的劣化度をよみとることは困難ではない。

大阪府下の中小都市において、ほぼ 100 枚の写真（カラーリバーサル）を撮影し、スライドスクリーン上で廃棄物の確認をおこなった。スクリーン上の画像を $8 \times 8 = 64$ 個に分割し、分割された部分に廃棄物が知覚されるかどうかを検討し、4つの種類（収集前の家庭ゴミ、不用放置品、一時放置品、静置した顕在化廃物）ごとに廃棄物のしめる割合を算定した。さらに同一の写真に対して、簡易分光光度計を用いて色彩の特性を分析し、一般性と有する結論は得られなかったものの、環境の評価法として写真調査が有効である面があるとの見通しを得た。³⁰⁾しかし、撮影地点ならびに撮影方向に特別のルールを設けておらず、対象区域内を踏査する過程で、あらかじめ定めた時間範囲のなかでは自由に撮影するという形式であったために、地域間の比較をおこなうことは困難である。数地区の平均値を図 4-5 に示すが、このような方法を科学的にするには次のようなことに留意する必要がある。

まず、視覚されるときに強さを上述のように廃棄物のしめる面積のみで評価することを改め、視野のなかで連続している場合をより大きなウェイトで算定するような評価プログラムを作成しなければならない。同時に、撮影地点が対象地域を十分に代表しうるように、調査基準を設定しなければならない。そのひとつの方法としては、調査前に定めた動線に従って一定距離間隔



として、一定方向に回けて写真を撮影することがあげられる。このようにして得た写真の分析結果によれば、その動線の周辺の環境をかなりの程度まで把握することができるであろう。

写真は人間の視覚を固定ないし保存するものであるともいえるので、潜在廃棄物環境と視覚的環境とではかなりの重なる部分のみとめられる。都市の視覚的環境については Kevin Lynch による古典的な労作があり、そこでは visual image を構成する 5 つの要素が提示されている。⁵⁷⁾それは、パス、エッジ、ディストリクト、ノード、ランドマークの 5 つであるが、潜在廃棄物環境を視覚的な面からみると、完全廃棄物の存在する形態もそれらと類似した概念によって整理することが可能である。踏査時の観察によれば、完全廃棄物が放置されている場所としては、市街地の周辺の草地や山林と市街地の空地が目立ち、なかでも道路に近い部分ほど投棄されている確率が高い。草地や山林と市街地との境界であるエッジ、あるいは空地であるディストリクトがパス（道路）と接触する地点で、投棄がなされやすいともいえるが、一方で視覚にとらえられやすいことも事実であろう。ここで、

完全廃棄物が滞留している形態を視覚的要素で分類し、表 4-4 のように整理しておく。

4-4-1 で述べるように、地上の物体の確認と潜在廃棄物の定量化の間には、いくつかの検討すべき課題がある。重要な問題のひとつは、潜在廃棄物として確認が可能なものが全体として顕在化（完全廃棄物化）している場合は別としても、多量の潜在廃棄物が占める空間の一部に完全廃棄物が点在している場合に完全廃棄物の定量化をどのように進めるかということである。この点に関連して、踏査の結果について述べることにする。

表 4-4 視覚的要素からみた完全廃棄物の貯留形態

視覚的要素	例
パース	道路上・街路上のゴミ 鉄道沿線の完全廃棄物
エッジ	郊外の丘陵のすそに不法投棄されたがき類 海岸、河川敷への投棄物
アストリット	山間地域での散在するがき類 山間地域での散在する 地域全域にわたる毛朽化した建物群
ノード	ターミナルで散在する (廃棄物処理場に集中する廃物)
ランド	毛朽化した記念碑的な建物 (廃棄物処理場)

環境内にとどまっている完全廃棄物は水平写真を用いた環境調査によっても識別されるが、原理的には調査員自身が目視で判断することも可能であることは初めに述べた。そこで、比較的独立した集落（堺市南部にあり、面積は約 11 ha である。）において実施した調査の結果にもとづいて、点在している完全廃棄物の定量化の方向について検討する。調査は 3 人で約 2 時間を要したが、踏査する道順をあらかじめ検討しておけば、調査員 1 人で 1 ha あたり 20 分程度で調べることができる。完全廃棄物を見いだせば、その種類、量（一般的には m^3 単位）、場所（道路上、空地、隣家と建物との間、建物の道路に面した部分、私庭内の 5 つに区分）^{*)} などを参考のために大縮尺の地図上で位置と照合しておいた。確認された完全廃棄物を種類別に示したのが表 4-5 であり、これらは式(2-20)の R_2 に相当するが、そのなかでは木材のしめる割合が高い。表のなかの建物を除いて、その放置されている場所をみると、上記の順に 36.5%、9.7%、9.3%、14.2%、30.3% となっており、空地を含む比較的公的な空間と私的空間とが相半ばしている。

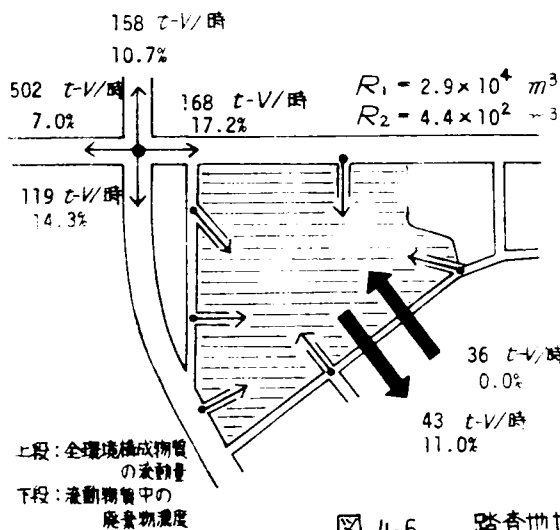
航空写真を用いて、対象地域内の建物の敷地面積を算定し、これに調査時のサンプリングで得た平均階数 1.5 を乗じて、延床面積は約 $5.6 \times 10^4 m^2$ と推定される。延床面積あたりの建物資材量を表 4-10 の値から $0.45 m^3/m^2$ 、同じく耐久消費材量を調査^{*}の結果より $0.07 m^3/m^2$ として、その合計量を延床面積に乘じて、潜在廃棄物現存量 R_1 の第一次近似値として $2.9 \times 10^4 m^3$ が得られる。さらに、参考のために断面流動測定を実施したが、15 分間 2 回の測定で流入量ならびに流出量は 20 t-V/30 分の水準であった。環境構成物質の現存量に対する廃棄物濃度を意味する $R_2/(R_1 + R_2)$ の値は 1.5×10^{-2} であり、きわめて単純に 30 分間測定の値を 20 倍して 1 日流動量をも

* 質問紙調査 II の結果による。建物延床面積と横軸に、保有量から換算した耐久消費材量(体積)を縦軸にとって関係を示すと、かなりのばらつきがあるが、平均的な廃単位として $0.07 m^3/m^2$ が得られた。関係図は文献(126)に示している。

とめると、それは R_2 の値と同程度であることがわかる。図 4-6 にはそれらの値とともに、集落に接する幹線道路における流動物質中の廃棄物濃度も記入している。

表 4-5 滞留している完全廃棄物の量

種 類	体 積	種 類	体 積	用途種類	割 合
材 木・負材	169.3 m^3	ト タ ン	12.6 m^3	容 器	14.7 %
木板・板・不製品	22.7	瓦	13.8	建 物 資 材	51.0
木 箱	29.7	ス レ ー ト	4.0	耐 火 資 材・建 具	3.6
紙 フズ・家庭ゴミ	8.5	が れ き	15.0	家庭用日用品・製品	7.3
古 織 雑	9.6	た た み	2.0	事務所用製品・部品	15.0
紙 箱	5.8	鉄・金属屑・くず	32.0	建 築 物	8.4
あきビン	20.9	鉄管・鉄骨	16.0	材質種類	割 合
あきカン	8.4	鉄 器 具	8.8		
うば車・自転車	7.0	石ブロック	11.0	木	50.6 %
耐久消費材	5.0	せともの	1.0	紙	1.3
建 具	2.0	建 築 物	37.0	織 雑	2.7
—	—	合 計	442.2 m^3	ガラス	4.7
主) 堺市南部の集落(約 10 ha)を対象に、1973 年に実施した。				金 属	20.3
				石・陶器・窯残物	10.1
				有機物(家庭ゴミ)	1.9
				その他(建築物)	8.4



	鉄		木製品		食料品		紙		その他	
	潜在	完全	潜在	完全	潜在	完全	潜在	完全	潜在	完全
東 行	12	8	8	-	1	-	-	7	62	1
西 行	33	2	-	5	1	-	-	0	59	0
南 行	22	13	7	-	20	-	-	-	36	-
北 行	41	6	3	-	17	-	7	-	22	5
流入量	6	-	7	-	60	-	-	-	27	-
流出量	1	8	21	-	23	-	31	-	14	1

単位 %

図 4-6 踏査地域での物質流動

いまひとつのアプローチは、鉄道の沿線地域に放置されている完全廃棄物をビデオテープレコーダーをもちいて確認をおこなったものである。大阪市より放射状に走る三本の鉄道路線に沿って、鉄道敷より約 10~20 m の範囲を車中より撮影するとともに、目測によっても廃棄物の種類と概略的な量を録音し、画像再生の際の参考とした。図 4-7 は確認された完全廃棄物の単位距離あたりの量を示したものであるが、初歩的な調査であるにもかかわらずいくつかの特徴が見いだされ、今後、

道路上を走行しながら同様の調査をおこなうことによって有益な結果が得られるものと考えられる。

その特徴を箇条

書にしておく。

(i) 単位
距離あたりの
 R_2 の値は、
都市の中心部
よりの距離を
経るにしたが
い増加するが、
その後は極大
値を得て減少
傾向をみせる。
平均値は $20 \sim$
 $30 \text{ m}^3/\text{km}$ であ
る。

(ii) 蓄積されている完全廃棄物の
大部分は産業系とみられるが、種類と
しては木材、土砂・ガレキ、一般ゴミ
などが多く、ドラム缶、鉄材、ゴム
タイヤなどがこれに加わっている。

(iii) 完全廃棄物の蓄積にはいくつ
かのパターンがある。空地の役割が大
きく、工場の近くの空地に放置されて
いる例が多い。郊外では空地での蓄積
が多いのに対して、過密地域では一時
的な貯留場所がないために、建物と建
物との間に放置してあるのが目立つ。

(iv) 完全廃棄物の確認は以上の範
囲では容易であり、同区間を複数回、
実測することによって精度をあげるこ
とはできる。しかし、建物の建蔽率が

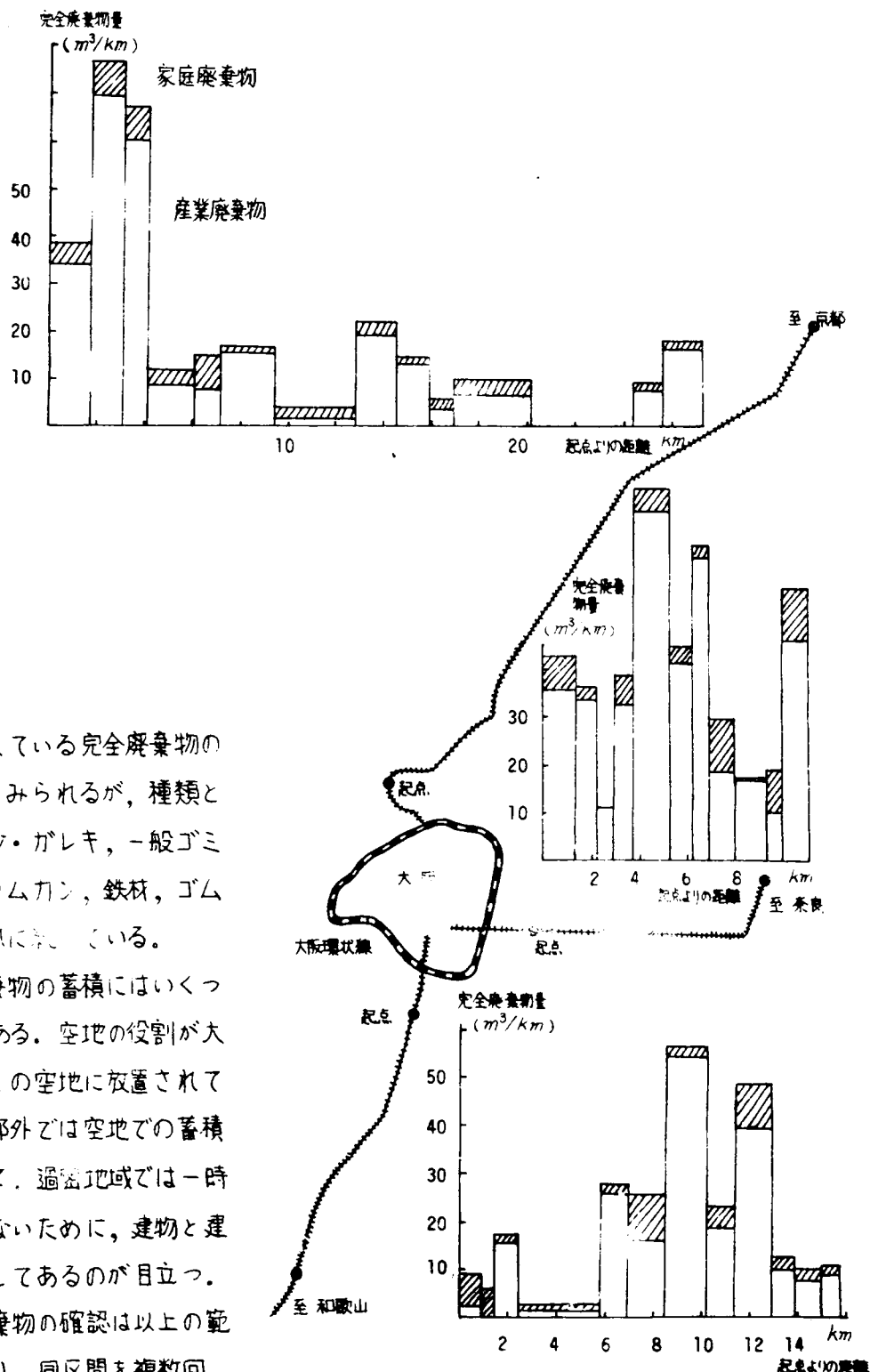


図 4-7 鉄道線路の付近に放置された完全廃棄物量

非常に高い区域では水平方向の見通しが悪いので、測定値と共通に比較しつるような合理的な方法、基準を見いだす必要がある。

4-3-3 航空写真の判読による環境汚染情報の収集

本項では、地上の物体ならびに土地利用形態の写真面上での判定を検討してきた過程で、環境の質を象徴的に示す環境汚染のある部分が情報として得られることに注目し、その実態把握の方法について考察した結果について述べる。衛生工学の分野においても、水系の拡散の状態を知るために色素を投下し、カラー航空写真を経過時間ごとに撮影している例³⁰はかなり以前からあったが、最近にいたって赤外カラーやマルチバンドシステムを用いた解析の進展により、一般的にはリモートセンシングとして統一される動きがある。

環境汚染のうちで可視部のスペクトル吸収を生じるものについては、航空写真を用いて定量的な表示は可能である。汚染された物質による吸収が顕著で、かつ、他の物質による吸収をあまり受けないような波長において測定することが良いが、写真フィルムが反応する波長に限定すると適当な波長がみあたらない場合が多い。この波長の判定は、スペクトル反射率を標準物体ならびに汚染物体について測定することによってなされるが、波長に関して積分された性格をもつ写真を使用するかぎり、同様の性格をもつ指標に注目すべきであり、個々の波長特性を問題とすることはあまり意味がない。ここでは、可視部の色彩を表現する方法として一般的な、CIE色度図表示を採用する。

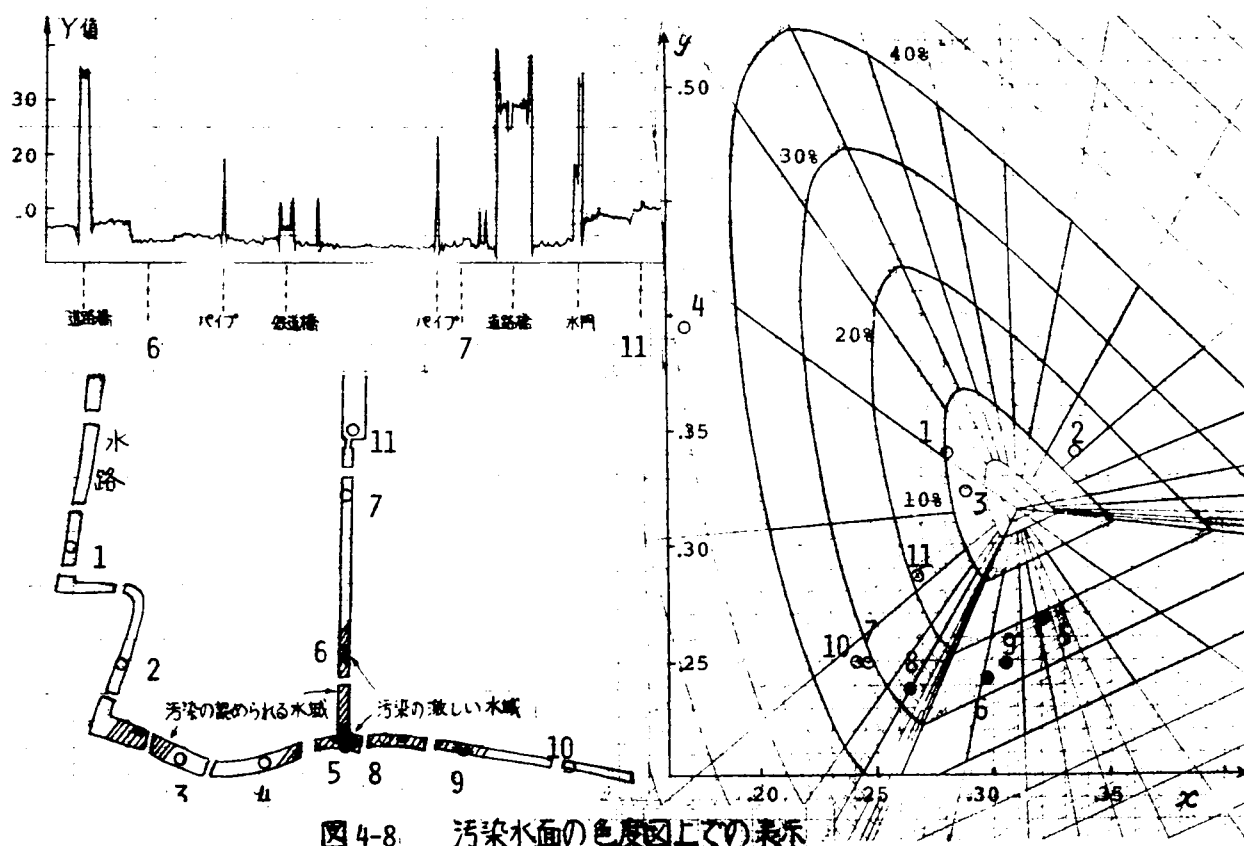
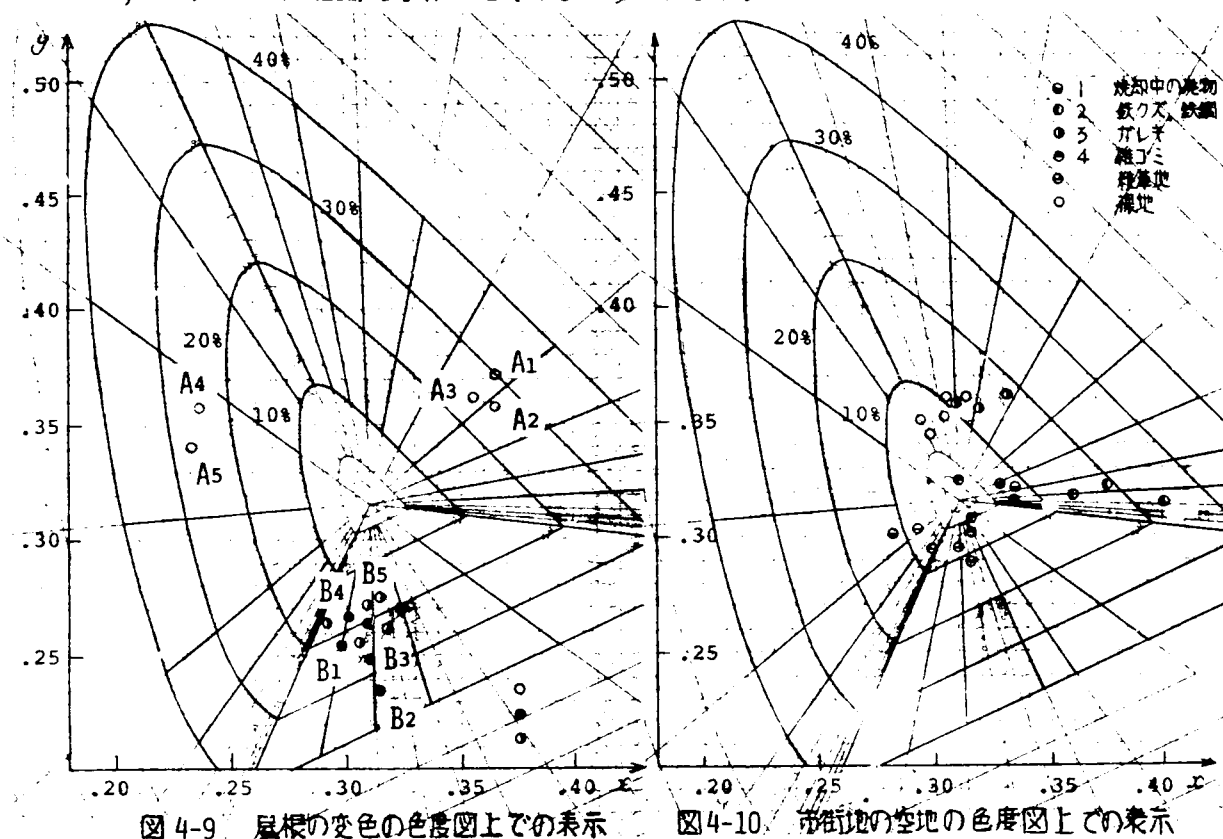


図4-8 汚染水面の色度図上での表示

縮尺 1/5000 の航空写真を用い、小水路の水面の部分をマイクロフォトメーターで照射し、色度図上に表現したものが図4-8である。汚染水面は色度図上の下部に小さいY値をともなで分布するが、これは水面が赤紫色に変色しているためである。正常な水面に対照する色度図上の位置から偏位していることによって、汚染が確認される⁵⁹⁾。図4-8には地点 A-B をむすぐ線上でのY値の変化と CIE 色度図上での変化をも示しておいたが、この程度では写真の直接的な観察による定性的な判断を追証したにすぎない。目的意識的に写真からある因子の値を抽出して定量化をおこなうためには、目的に沿った理論的考察が先行する必要がある。



ついで、図 4-9 , 図 4-10 には土地の汚染(土壤汚染ではない)ともいうべき現象があらわれている。図 4-9 の A_i と B_i で示される屋根は同じ建築物の屋根を構成しているにもかかわらず、 B_i は煙突より排出される煤塵のために変色しているのである。また、●印で示される鉄道線路に近い一群の屋根の色彩は、線路より離れた屋根のそれに比して刺激純度が低い傾向があり、色度図上で異った位置にある。4-4 で述べるように、建築物の屋根の色彩は屋根材料の材質と大気降下物の付着によって建築後は変化する。図 4-9 で比較している黒瓦の屋根の築造年代には全体としては大きな差異がないので、鉄道に起因する酸化鉄を含む煤塵の付着による効果があるものと推定される。一方、図 4-10 は市街地の空地のいくつかについて、色度座標で表現したものであるが、裸地と撮影時期が冬期であるために裸地に近い雑草地は、一定の色度図上の範囲に入っている。これ

に対して、廃棄物が投棄されている空地は少し異った位置であらわされ、例を示すと、焼却中の廃物（色度図上の1）、鉄くず（色度図上の2）、ガレキ（色度図上の3）、雑ゴミ（色度図上の4）などが見いだされる。

以上にのべたように、航空写真によって環境汚染の実態の一端を観察することができるが、いずれも写真面から得られる情報と実際の環境汚染との間の論理的な関係を明確にしておくことが前提である。それゆえに、環境汚染の機構面での検討を航空写真の分析にゆだねることは困難である。もちろん、写真のもつ時刻の停止と映像の保存が広域的におこなわれている航空写真の利用が、環境汚染の実態を把握する上で有効である面も多い。大気系、水系、土系のそれぞれの汚染の実態を同時刻に広域的に観察しうる点を積極的に生かす用途としては、流体運動の大規模実地調査、広域的な対象の汚染源の追究、広域的汚染監視などがあげられよう。

航空写真によって見いだされた水面の色彩変化としての水質汚染や、屋根の色彩の変化、空地への廃物の投棄は、それ自身としては環境評価の一つの面として受けとめるべきであり、その評価との因果関係は他の調査の結果も含めて考察されてはじめて明らかにされる。まずは、図4-8、図4-9、図4-10に示した色度図上での汚染の表示が一般性をもつかどうかを、より広い地域を対象として検討し、環境評価図を最終的な方向にもつ第一段階的な基準を作成することが必要であろう。

4-4 潜在廃棄物の現存量の推定

4-4-1 航空写真を用いた潜在廃棄物量の算定²⁶⁾

マイクロフォトメーターを用い、写真面のスキャンニングによって得られた情報は、前節で述べた色度図上での分布形態を規格して物体の判読基準を作成することによって、潜在廃棄物の算定に利用できる。算定の具体的な手続きは図4-11に示すとおりであり、順に説明を加える。色度図表示から地表面の種類と潜在廃棄物の老朽度を判定するルートは手続きの主要な過程であり、これに対して図中の三刺激値から分岐するルートは補助的な判定基準をもつものを意味し、ここではのちに述べるところの相関係数から密集度を検討する例を示しておいた。

いま、1/1000の縮尺の航空写真を用い、マイクロフォトメーターのスリット巾を0.5 mmとして走行したとすると、200 m × 200 m（写真面上で20 cm × 20 cm）の地域の三刺激値のデータの個数は計4800個となるので、必要なデータの個数のレベルに従ってデータ処理の合理化をはからねばならない。その一つの方法は、刺激値を示す出力をデータレコーダーに納め、アナログ・デジタル変換機によってデジタル量に変換して計算機の入力とするものである。図4-12はそのプロセスを示したものであるが、電気機器の接尾に際してはインピーダンス・マッチングや雑音排除の

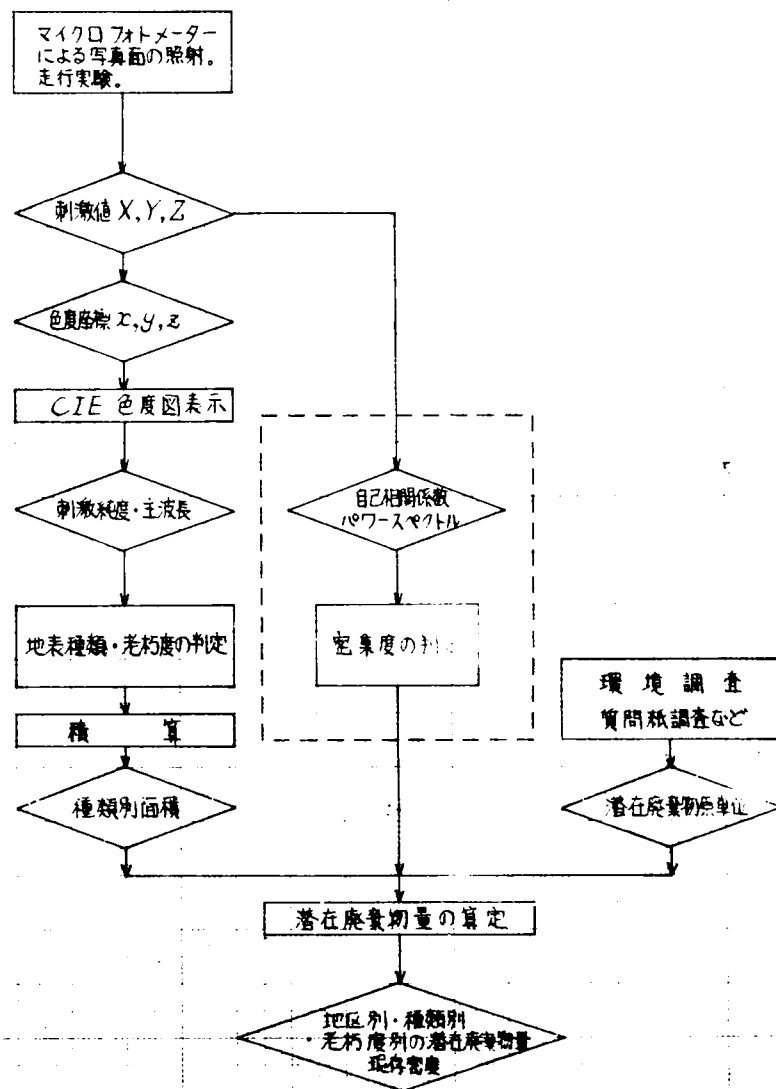


図4-11 潜在廃棄物の現存量をもとめる過程

ための filtration などをおこなうことは一般の計測の場合と同様である。

直読あるいは記録紙より計算機に入力をおこなう場合には、対象地域を適当な大きさに区切って

それぞれについての値を二次元に配置することができ、データレコーダーを用いる場合には、コンピュータの内部で一次元のデータの unnecessary 部分を除きながら二次元に組みなおさなければならない。図 4-13 に示すサブルーチン *HAIRE* は、一行ずつ交互に選んで接続した一次元のデータを二次元に配列するとともに、小ブロックに自動的に分割するものである。写真の対象部分以外は反射率の高い白紙をおき、デジタル量に変換されたデータのシリーズで一定の値以上の大きい刺激値を示す部分を白紙に対応するものとして自動的に削除することからデータ処理ははじめられる。潜在廃棄物の算定のためのプログラムのフローチャートを図 4-13 に示す。サブルーチン *HAIRE* を呼び出したあとで、色度座標 (x, y) の組ごとに、あらかじめ組み込んでおいた地表種類と老朽度から対応するものを選びだし、さらに視感度を意味する Y の値と (x, y) の組の一定範囲ごとに、小ブロック別の集計値を算出している。なお、サブルーチン *CORRE* は小ブロック別に Y 値の一方方向の連続値の自己相関係数を算定するためのものである。

市街地を対象とした縮尺 1/5000 のカラー航空写真の一部について、以上の手続きとおこなった予備的な実験の結果に関して述べる。刺激純度と地表種類の判定基準として、色度座標 (x, y) に対応する判定行列を作成する。行列要素の値は、4-3-1 での検討をもとに、 x, y のそれぞれ 0.01 の中ごとに与えることとする。図 4-5 の分布を規格化して、刺激純度と地表種類の判定行列を図 4-14 のように作成したが、行列要素の値は刺激純度の範囲と地表種類

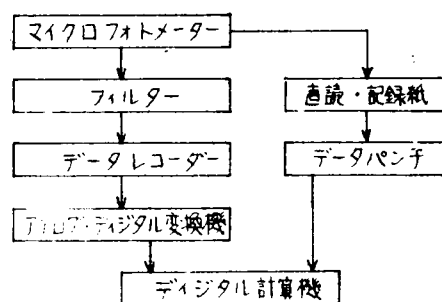


図 4-12 データ処理

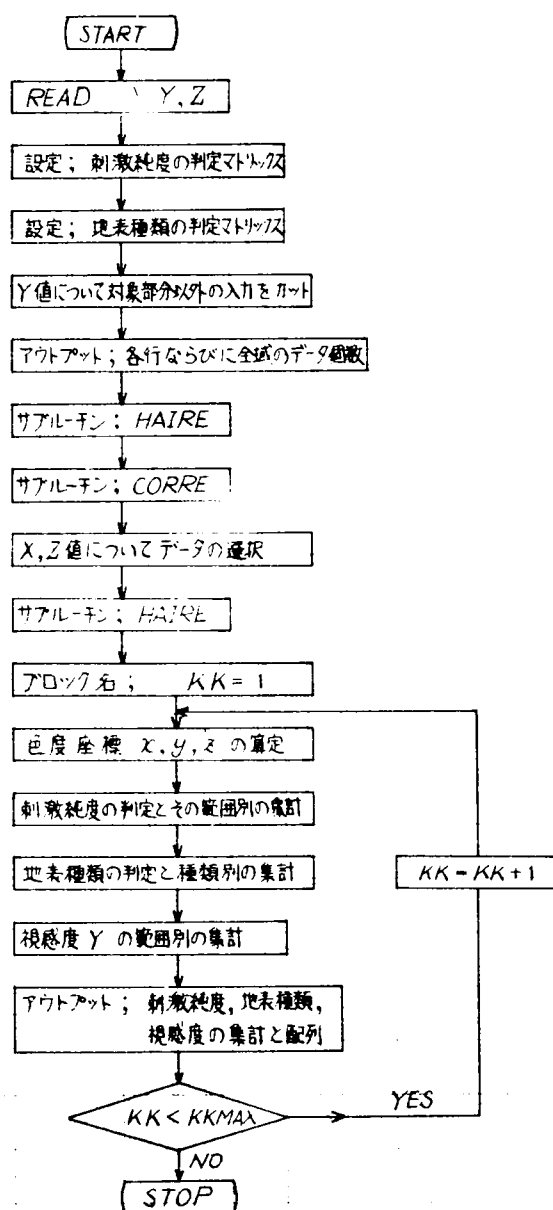
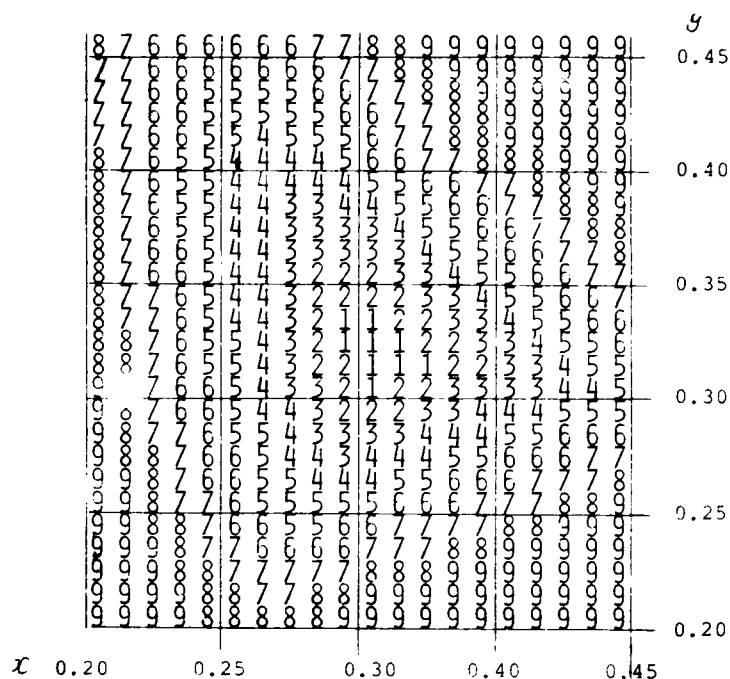


図 4-13 潜在廃棄物量の算定のためのプログラム

	刺激純度
1	～ 5.0%
2	5.0% ～
3	10.0% ～
4	15.0% ～
5	20.0% ～
6	25.0% ～
7	30.0% ～
8	35.0% ～
9	40.0% ～



	地表種類
1	青瓦屋根
2	赤瓦屋根
3	黒瓦屋根
4	日陰部分
5	裸地
6	舗装道路
7	緑地
8	その他
9	判定不能

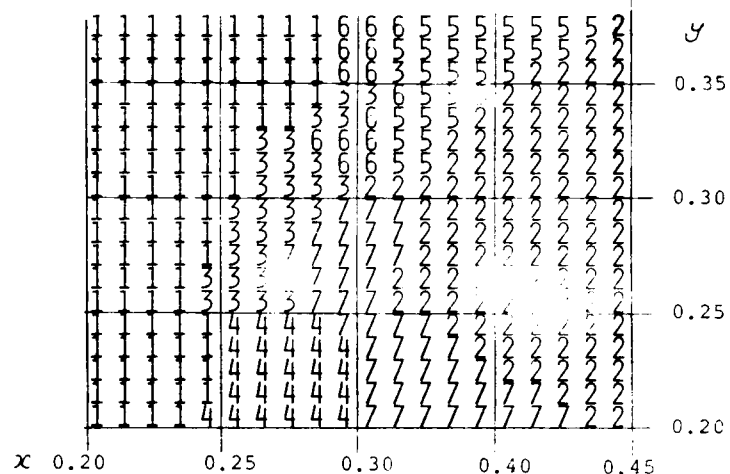


図 4-14 刺激純度と地表種類の判定行列

を数字であらわしている。たとえば、 $(x, y) = (0.285, 0.275)$ であれば、小数点第3位以下を切りすてて、図 4-14 の該当する行と列をみて、地上の物体の色の刺激純度は約 15%、地表種類は緑地と判定される。

地域を 11 のブロックに分割し、それぞれについて刺激純度の範囲、地表種類、視感度の範囲ごとのスポット数を集計した結果を表 4-6 に示す。なお、写真面を連続照射した際の走行速度は 0.5 mm/sec でスリット巾は直径 0.4 mm であり、1 スポットの実質照射面積は写真面上で約 0.13 mm^2

(実空間で約 $3.14m^2$)であるが、連続データよりの離散的サンプリングの間隔が1秒であるので、選ばれたスポットで全面積をおおうこととすれば1スポットは写真面上で約 $0.25mm^2$ (実空間で $6.25m^2$)の面積を代表していることになる。写真上での目測による地表種類別面積の割合と比較すると、地表種類の判定の精度は高くなく、「その他・不明」と判定される誤りがかなり多い。精度が低い原因の第一は、使用したマイクロフォトメーターの構造上の弱点にもとめることができる。すなわち、受光部、増巾部ならびに指示部が1組しかないので三刺激値 X 、 Y 、 Z を同時には測定できず、三回の走行で同じ写真面上の位置を正しく対応させることが困難であるからである。もし、走行方向と直交する方向に位置がずれたとすると、その列全体に影響をおよぼし、 $x+y+z=1$ となるように基準化する際にその誤差が拡大される。二次元配列の走行値を二次元に配列し、小ブロックに分割するのであるから、走行方向の位置のずれは致命的な誤りをもたらすが、この予備的な実験ではこの種の誤差が生じているものと考えられる。

表 4-6 走行結果と地表種類

	刺 激 純 度 (%)									地 表 種 類								
	~5	~10	~15	~20	~25	~30	~35	~40	40~	青瓦屋根	赤瓦屋根	黒瓦屋根	日陰部分	裸 土	舗装路面	緑 地	その他	判定不能
1	22	34	37	16	11	8	2	2	3	14	55	13	0	0	25	6	14	8
2	11	17	30	37	15	12	4	2	4	23	44	7	0	0	5	1	49	6
3	15	25	37	20	19	13	2	2	2	21	52	9	0	0	8	2	34	9
4	19	30	35	18	15	11	2	2	3	20	46	15	0	0	9	6	33	6
5	10	23	53	21	13	10	1	2	2	12	64	6	0	0	10	2	31	10
6	11	19	29	30	21	15	3	5	2	25	50	13	0	0	5	4	34	4
7	29	38	37	14	7	5	1	2	3	7	51	11	0	0	10	6	40	10
8	21	27	35	23	13	12	2	2	0	20	38	16	0	0	8	8	34	11
	写 真 濃 度 (Y 値)									地 表 種 類 (写真観察、実地踏査)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	40	青瓦屋根	赤瓦屋根	黒瓦屋根	日陰部分	裸 土	舗装路面	緑 地	その他	判定不能
1	0	1	9	14	10	21	15	27	38	0	0	0	0	0	39	0	96	0
2	6	52	33	16	13	5	6	4	0	0	6	8	5	50	8	43	15	0
3	21	48	26	19	15	5	0	1	0	7	67	25	15	0	5	6	10	0
4	5	51	39	22	15	2	1	0	0	20	45	14	10	9	5	4	8	0
5	18	51	43	14	8	1	0	0	0	20	43	28	14	9	7	6	8	0
6	1	44	58	29	3	0	0	0	0	14	16	34	13	0	10	21	27	0
7	17	41	43	21	7	6	0	0	0	15	16	67	14	0	7	2	21	0
8	12	48	42	16	13	3	1	0	0	16	11	49	10	12	15	19	3	0

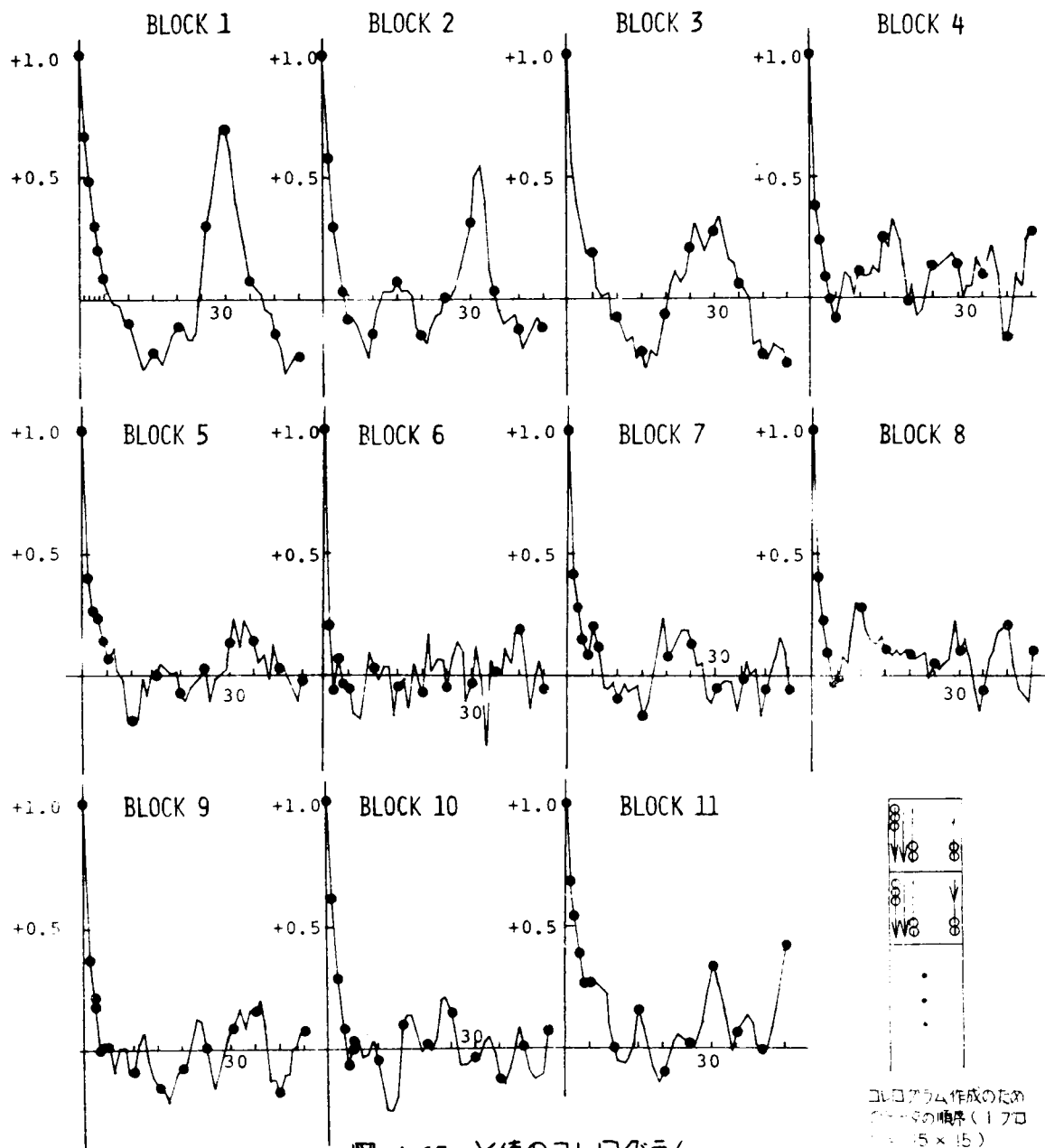
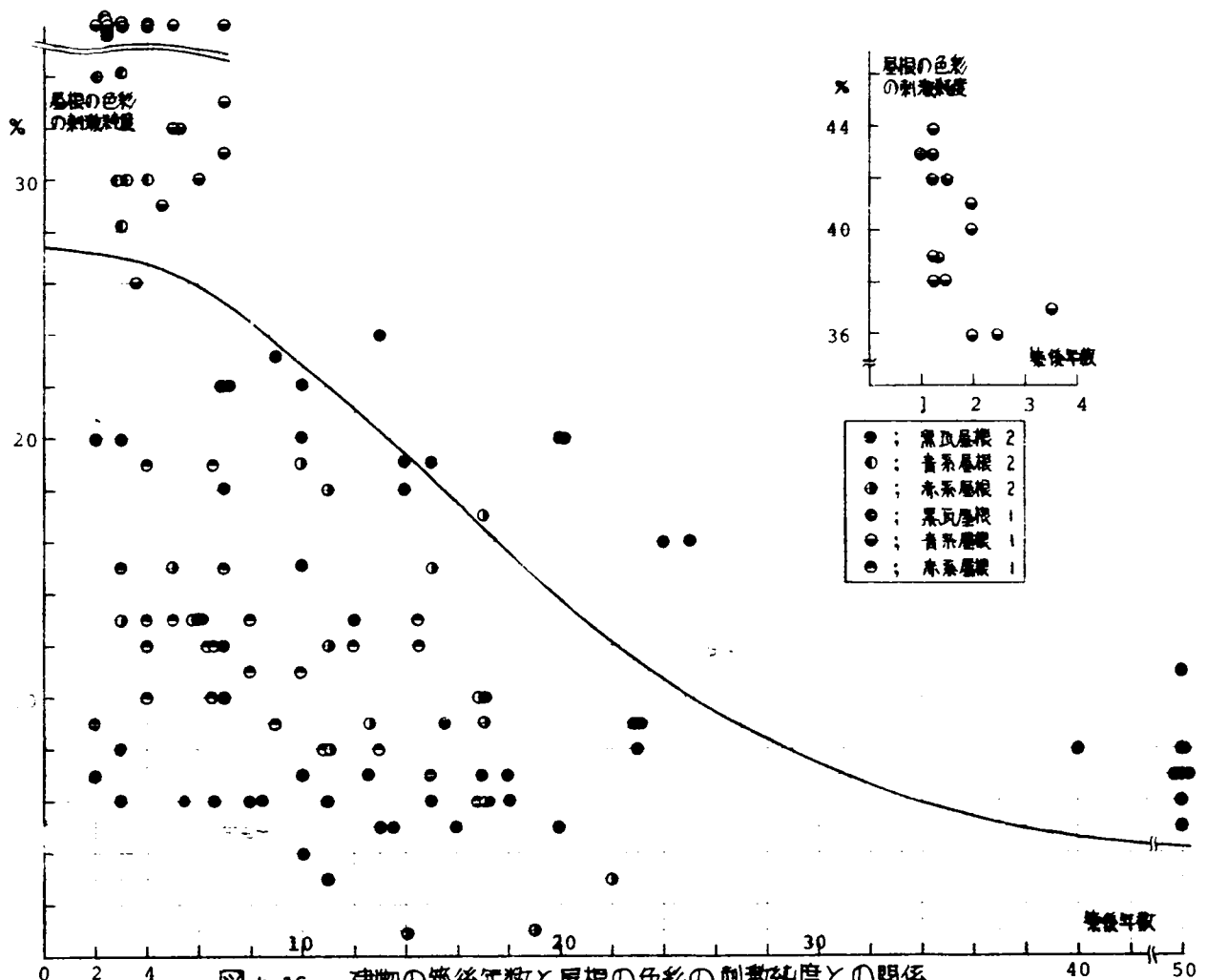


図 4-15 Y値のコレログラム

ブロックごとにY値の連続走行値の自己相関係数を計算すると、図4-15にコレログラムが得られる。データの順序は付図に示すとおりであり、任意のデータから30個目に隣接する地点のデータが位置するので、全体としてずれの間隔が30で正の相関がみられる。前述の地表種類の判定の場合と同様に、ブロックに分割するときの誤差が順に伝播するので、分割の始め（ブロック1,2）のコレログラムのピークが平滑化される傾向がある。ブロック6では、建物が密集しており、土地利用形態も視覚的には最もランダムであるために、ほとんど自己相関がない。これに対して、鉄道の軌条や海岸線の横切っているブロック1,2ではコレログラムのピークが鮮明である。ブロック4,8では、ずれ10~15でピークがみられ、敷地境界によるものと思われる。

屋根の色彩を色度図上に表現した際に、古い集落に属する家屋の屋根ほど色度図の中心に近い部分に位置することが見いだされた。このことから、色彩の刺激純度と建物の築後年数（正確には屋根の建造後の期間）との間には関係があるという仮説を立て、航空写真の分析と平行して、約100軒の家屋について建築年度の問い合わせを進めた。対象地域は大阪府下堺市の南部の三か所で、このうちで地域1は築後50年を経過している建物が多く、また借家であるために正確な年数が不明であることにもしばしば遭遇したが、持主に照会するなどしてできるだけ正しい値を得ることにつとめた。問い合わせの際には、増改築ならびに屋根の葺きかえの有無をも調べ、航空写真から得た刺激純度と対応させるのは屋根の建造後の期間とした。以下で建物の築後年数という場合には、屋根の葺きかえ後の経過年数が計上されている。

刺激純度と築後年数との関係を示したのが図4-16である。サンプルとして採用したのは赤瓦、青瓦、黒瓦の三種の木造建物であり、それぞれの種類によって刺激純度はかなり異なっている。全体としては築後の年数を経るにつれて刺激純度が低下する傾向をみせているが、一本の曲線で近似するには変動が大きすぎる。三つの色彩の屋根ごとに刺激純度 S と築後年数 x との相関係数を算定すると、いずれも絶対値が0.5前後の負値を示し、弱い負の相関がみとめられる。



S を τ であらわす関係式としては、減少関数であり、かつ τ がある程度大きくなれば S が一定値に近づくことが物理的意味から必要であるので、その飽和値を S_c とするとき、次の二式が候補として考えられる。

$$S = S_c + a \cdot e^{-b\tau} \quad (4-11)$$

$$S = S_c' + a' \cdot e^{-b'\tau^2} \quad (4-12)$$

いずれの式も建物構造材の老朽過程をあらわす式として用いられており、初期値は $S = S_c + a$ (あるいは $S = S_c' + a'$) であり、 τ が小さいときほど S の減少率が大きい。いずれの式が妥当であるかを判定することは現状ではあまり意味はなく、それよりも図 4-16 にあらわれた分散的傾向に対して、式(4-11)あるいは式(4-12)の方程式群が重なりあっているとの解釈を試みよう。すなわち、図 4-17 に示すように、 (S_c, a, b) あるいは (S_c', a', b') のいくつかの組で表現される反応が生じており、みかけ上はそれらの平均的な式と包絡線的な式が観察されるのである。

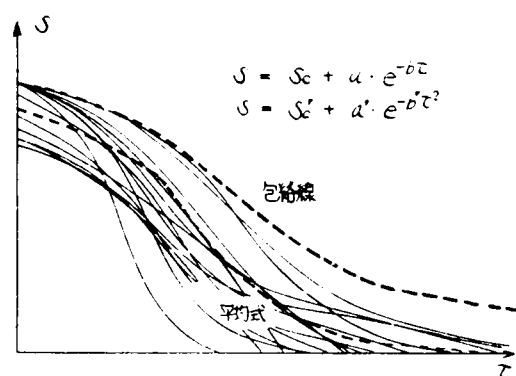


図 4-17 屋根の色彩の彩度の変化

屋根の色彩の変化には二つの要因が考えられる。ひとつは屋根を構成する瓦あるいは他のものを含めた屋根材料が太陽光線などの作用を受けて変色することであり、他の要因は大気中の降下物が付着することにあるであろう。現実には両者が同時に生じており、しかもいずれの作用も一般的には色彩の彩度すなわち刺激純度を減少させる方向に働いている。黒瓦の刺激純度としての刺激純度がゼロでない値としてあるということは一見不可解であるが、大気中の降下物とくに酸化鉄を含んだ煤塵による効果以外に光学的な原因がある。ひとつには大気中の散乱光が写真上に捕束されていることがあげられ、写真の焼付時の条件にも起因するが、さらにカラー写真がシアン、マゼンダ、黄という三原色の各層での反応を合成しているために*それぞれの反射光のスペクトル特性がX, Y, Zに相応するフィルターを通してあらわれてくることにももとめられよう。光学的フィルターを用いた低領域の三刺激値には測定機器上の問題点もかかわっているので、以上のことは断定できないが、黒瓦の屋根の刺激純度の背景として留意しておくべきである。

* かつうのカラーフィルムは多層反射発色現象の方式によっているが、それは減法混色の原理にもとづいている。

4-4-2 潜在廃棄物としての建物の代謝

前項では航空写真を用いた潜在廃棄物の現存量の推定法について具体的に述べたが、主たる対象とした建物に用いられている資材量については第5章に述べる質問紙調査を併用することがとくに重要である。そこで、統計調査によって得られているデータを用い、建物資材量ならびに将来の廃棄物量を推定し、潜在廃棄物の蓄積形態のひとつとしての建築物という視点から基礎的な検討をおこなうこととする。

建築物は人間のつくりだしたもののなかでもっとも基本的で大きい潜在廃棄物である。耐用年数が長く、人間のライフサイクルの期間を越える場合も多いので、建築物が廃物化するときの実体を予見的に把握することは簡単ではない。図4-18は廃棄物体の価値軸で表現される質の変化を示したものであるが、タイプⅠの極端な場合においては一定期間をすぎると集中的に潜在廃棄物が顕在化することになり、建物がそのような動向を示すときには根本的な改造を必要とする。表4-7は神戸市における建築時期別住宅数を示したものであるが、1963年より1968年にかけては、終戦時（1945年）～1960年の間に建築された住宅が終戦前のそれよりも高い率で減少しており、住宅難の時代に建てられた粗悪な住宅がタイプⅠの変化に準じて多量に除却されたことを意味する。現在、建設されている密集地帯の強固でない構造の建売住宅、文化住宅の多くが、ある時期を境に急激に老朽化し、使用に耐えなくなることは十分に予測され、その場合にもドラスティックな変化をとまなうタイプⅠの範疇に入るにすることとなる。

表 4-7 建築時期別住宅数（神戸市での戸数）

時 期 建築時期	調査年度 1948	1953	1958	1963	1968
総 数	117,333	186,000		274,000	320,000
明治・明治前		21,000			
大 正	89,015	40,000		99,400	84,370
終戦前		47,500			
戦後～1955	28,318	78,000		92,800	69,080
1956～60	—	—		46,100	51,680
1961～65	—	—	—	33,300	74,110
1966～68	—	—	—	—	40,730

注）住宅調査結果報告、住宅統計調査（総理府計画局）による。最初の建築時期の値は調査年度までの値である。

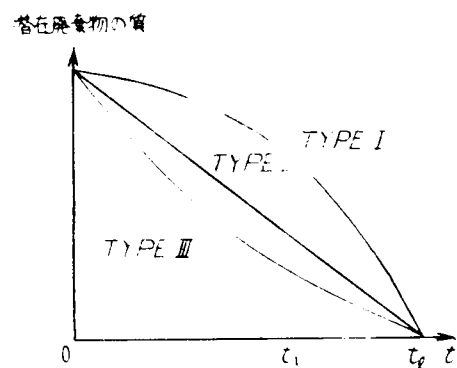


図 4-18

潜在廃棄物の老朽化のパターン

建築物のうち住宅の戸数に関する全国の平均的な代謝係数（滅失戸数の全戸数に対する比）は約0.5%/年である⁵⁰⁾。住宅総数が増加しているために値は低くなっているが、実質的な耐用年数は、代謝係数 k の逆数にあたる200年よりもはるかに小さい。さらに、第5章において述べる質問紙調査の結果によれば、住宅滅失量（除却ならびに災害建物量）は、図4-19に示すように、件数上では部分的滅失に属するものが圧倒的に多い。国の指定統計である建築統計で計上されている滅失延床面

積は 10 m^2 以下の滅失，改築を無視した値であるので，実際には図 4-19 の部分的滅失のかなりの部分に相応した床面積を加えることが必要である。ちなみに，図 4-19 の全面的滅失と部分的滅失の一件あたりの平均延床面積は約 70 m^2 ，約 8 m^2 であり，部分的滅失の全体にしめる割合は 30～40% 程度であろう。

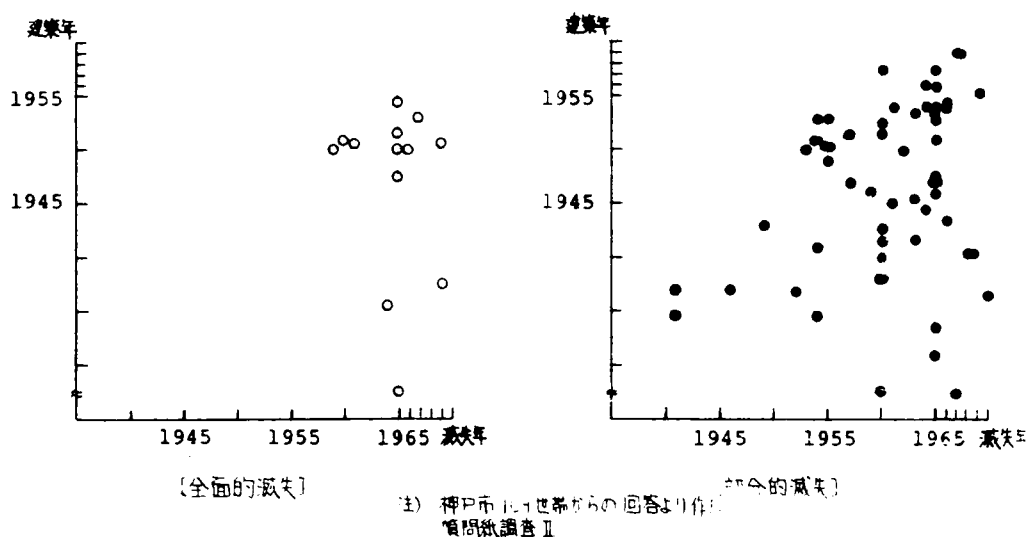


図 4-19 住宅建築物滅失状況

今後，都市再開発事業が進むにしたがい滅失による廃材量の増加が見込まれ，単に廃材量の推定のみならず，廃材の発生を都市代謝の結果とみることからみちびかれる都市計画上の原理を確立する必要にせまられている。建築学の分野においても，川添 登や菊竹清訓らによって「代謝する環境の装置としての建築⁶¹⁾」が強調されてきたが，代謝された設備装置や生活装置が建物の外の環境に与える負の效果に十分な注意がはらわれてきたと考えることはできない。一方，建物の除却にうびに災害による滅失に関しての理論的検討はいくつかあるが，代表的なものは 5-3-2 で述べる伊藤ていじの家屋耐用理論である。実際の建築物の耐用年数の決定，あるいは耐用年数を増加させる施工技術や建物の長期の管理などについてもいくつかの研究がなされており，松下清夫の「建築耐用計画⁶²⁾」はそのひとつの集大成である。建物の耐用年数としては，所得税法・法人税法上の値，固定資産税上の値，火災保険上の値などが示されており，それらをもとに用途を考慮した物理的耐用年数の目安として表 4-8 とされる。実際の耐用年数は物理的な耐久性に基本としては条件づけられながらも，社会的な要素に左右される面が強く，滅失の社会的背景について検討することが必要であろう。

ここでは，現存している潜在廃棄物の把握の一環として，建物資材量を算定し，その分布，年齢構成，代謝の状態などについて論じることとする。都市計画に関する基礎資料として街区ごとに用

用途別の建築年代別の家屋の延床面積の値が整備されている地域を対象とし、⁶⁰⁾ それと街区ごとの用途別構造別延床面積の値とから、表 4-9 に示すような用途別構造別年代別の延床面積を得た。この場合、用途別の建物構造が歴史的にどのように変化してきたかを知ることは困難であるので、ひとまず、地区と建物用途を固定した場合には、各建築期間での構造種別の割合は同一であると仮定した。この仮定は不燃化や鉄骨構造物の増加の増加などの傾向を正確にはあらわれないが、建物用途と地区の指定によって建築時期にかなりの偏りがみられるために、結果的には建築時期による構造の差異を考慮した配分がかなりの程度までおこなわれている。

表 4-8 建築物の耐用年数

用途 構造	住居 農漁業	商業	工業	その他
木造	50	50	35	25
軽量鉄骨造	55	50	50	35
コンクリートブロック造	55	50	45	30
鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート造	80	75	65	40

(単位 年)

表 4-9 神戸市における建築時期別用途別構造別建築延床面積

建築時期 用途種別	建築構造	昭和,大正	～1945	～1950	～1955	～1960	～1965	～1970	合計
一般住居	木造	1,658	2,270	707	1,088	1,661	2,352	3,084	12,820
	軽量鉄骨造	24	35	16	23	35	56	121	310
	ブロック造	8	12	5	7	13	20	33	98
	鉄筋コンクリート造	170	278	106	171	315	497	1,089	2,626
農漁業家屋	木造	1,159	295	188	170	149	158	229	2,348
	軽量鉄骨造	26	7	5	4	4	4	7	57
	ブロック造	8	2	2	1	1	1	2	17
	鉄筋コンクリート造	8	6	2	1	4	1	2	24
併用住居	木造	277	311	523	310	339	475	628	2,863
	軽量鉄骨造	13	16	35	21	20	45	60	215
	ブロック造	2	3	3	4	4	7	11	34
	鉄筋コンクリート造	60	61	88	101	122	210	291	933
商業用建物	木造	56	79	9	86	106	168	248	833
	軽量鉄骨造	5	12	7	9	17	41	60	151
	ブロック造	4	5	3	5	7	14	27	65
	鉄筋コンクリート造	143	286	139	223	216	662	942	2,721
工業用建物	木造	161	100	80	64	140	211	257	1,013
	軽量鉄骨造	30	35	25	22	49	28	144	333
	ブロック造	28	25	17	17	36	45	51	220
	鉄筋コンクリート造	405	698	213	295	530	1,003	1,505	4,649
その他	木造	30	14	40	34	39	56	63	276
	軽量鉄骨造	4	5	12	10	13	40	39	123
	ブロック造	2	2	3	3	4	12	20	46
	鉄筋コンクリート造	2	4	8	8	13	25	42	102

注) 都市計画基礎調査, 工場家屋現況調査(1970, 神戸市都市計画局計画部計画課)より作成。木造, 軽量鉄骨造, ブロック造(コンクリートブロック造), 鉄筋コンクリート造(鉄筋鉄骨コンクリート造, 鉄骨コンクリート造)の区分である。単位は $10^3 m^2$ である。

建物資材量は構造材と造作家具類を加えた値であり、いくつかの建設工事の積算例⁶³⁾をもとにして平均的な資材量をもとめたものが表4-10である。延床面積あたりの構成資材量に神戸市全域の建物延床面積を乗じて表4-11の値を得る。量的には、とりあげられていない資材を含めたとしても、壁土を含むコンクリートと木材が大部分をしめることが表4-12の資料から理解できよう。⁶⁴⁾用途別に木材と壁土を含むコンクリートの合計量

表 4-10 建築物を構成する物質量

		木 材 m^3/m^2	鉄 鋼 kg/m^2	コンクリート・壁土 m^3/m^2	ガラス m^2/m^2
一般住居 併用住居 農 漁 業	木 造	0.26	2	0.19	0.30
	軽量鉄骨造	0.13	88	0.19	0.30
	コンクリート・ブロック造	0.10	2	0.38	0.25
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	0.06	53	0.57	0.15
商業用	木 造	0.27	4	0.25	0.20
	軽量鉄骨造	0.11	100	0.25	0.20
	コンクリート・ブロック造	0.03	4	0.50	0.20
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	0.03	75	0.69	0.18
工業用	木 造	0.24	4	0.21	0.07
	軽量鉄骨造	0.10	100	0.21	0.07
	コンクリート・ブロック造	0.03	4	0.42	0.07
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	0.03	77	0.62	0.07
その他用	木 造	0.21	3	0.10	0.02
	軽量鉄骨造	0.08	80	0.10	0.02
	コンクリート・ブロック造	0.03	2	0.50	0.02
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	0.02	64	0.50	0.02

主) 棚橋編 建築見積ハンドブック(朝倉書店、1966)より算定

表 4-11 建物資材量としての潜在廃棄物現存量

(神戸市 1970)

		木 材 $10^3 m^3$	鉄 鋼 $10^3 kg$	コンクリート・壁土 $10^3 m^3$	ガラス $10^3 m^2$	建物延床面積 $10^3 m^2$
一般住居	木 造	3,333	25,640	2,436	3,846	12,820
	軽量鉄骨造	40	27,253	59	93	310
	コンクリート・ブロック造	10	194	37	24	97
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	158	139,172	1,497	394	2,626
農漁業建物	木 造	611	4,697	447	704	2,348
	軽量鉄骨造	7	4,923	11	17	56
	コンクリート・ブロック造	2	35	7	4	18
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	1	1,239	13	4	23
併用住居	木 造	744	5,723	544	858	2,861
	軽量鉄骨造	28	18,929	41	65	215
	コンクリート・ブロック造	3	66	13	8	33
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	56	49,464	532	140	933
商業用建物	木 造	225	3,339	209	167	835
	軽量鉄骨造	17	15,197	38	30	152
	コンクリート・ブロック造	2	264	33	13	66
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	82	204,036	1,877	490	2,720
工業用建物	木 造	243	4,052	213	71	1,013
	軽量鉄骨造	33	33,319	70	23	333
	コンクリート・ブロック造	7	877	92	15	219
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	139	339,375	2,882	325	4,649

その他用	木造	58	828	28	6	476
	軽量鉄骨造	10	9,798	12	2	122
	コンクリート・ブロック造	1	91	23	1	46
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	2	6,600	52	2	103
合 計	木造	5,214	44,279	3,875	5,652	20,153
	軽量鉄骨造	135	109,409	230	230	1,188
	コンクリート・ブロック造	24	1,527	204	66	478
	鉄筋鉄骨・鉄筋コンクリート	438	739,886	6,853	1,354	11,055

を比較すると、一般住居と併用住居の和に対して、農業用家屋の現存量は 10 % 程度で、商業用建物、工業用建物の現存量はそれぞれ 0.26 倍、0.36 倍の値を示し、全体としては非住宅と住宅の現存資材量の比はほぼ 1 対 1.7 となっている。十数倍ともいわれている産業廃棄物発生量の一般廃棄物（家庭廃棄物）発生量に対する比率とは対照的に低い値であるが、都市全域でみても産業系の現存量が生活系のその約 3/4 程度で存在していることがわかる。

表 4-12 3DK 鉄筋コンクリート造住宅に用いられている資源の量

用途	資源	鉄	銅	アルミニウム	鉛	木材	繊維	プラスチック
建 物	建築工事に用いる材料	2,724		58		1181		344
	電気設備材料	181	6		26			7
	小 計	2905	6	58	26	1181		351
家 財	箱 物	4	1			163	2	
	机・イス	33				63	2	3
	衣 物	8				38	26	
	家電製品	111	17	14		5		48
	暖房器具	8	2			3		
	食器・食料	10		20				10
	本・レコード							15
	レジャー用品	10	2		1	10	2	5
	自動車	20		1				1
	カラーテレビ	1	1	1		7		5
	ステレオ	1	1			3		1
	ピアノ	17				54	1	1
	自動車	136			2			4
	小 計	359	25	39	3	346	33	93
計		3264	31	97	29	1527	33	444

朝日新聞 1971 年 1 月 17 日より引用。産業材料調査研究所の調べ

単位は kg で小数点以下は四捨五入。資源別ではびり、セメント、タイルなどの土工系材料、ガラス、陶器類、タタミ、紙などは除いてある。電気、ガス、燃料などエネルギー関係も除く。箱物はタンス、鏡台、ガードホード、飾りタナなど。袋物はリッパ、ベビーベッドなど。保有率はカラーテレビ 50%、ステレオ、ピアノ 30%、自動車 20% とし、一家族分に限る。

ついで、主要な街路で区切られた集計ブロック（平均的面積は約 20 万 m^2 ）ごとに、木材、鉄鋼、壁土を含むコンクリートの現存総量を示した図 4-20 ～ 4-22 について説明を加える。いずれも地域的な差異は大きくあらわれており、商業が多く立地している都心部での値と、専用住居のみで構成されている市街地のそれとでは、後者の 10 倍に近い差がある。ちなみに、都心部と考えられる図 4-22 の丸印の点から放射状の方向のコンクリート（壁土を含む）の現存密度の変化を示したのが図 4-23 である。その変化はかなり大きい、臨海部に帯状に発展した神戸市域の特性に影響され

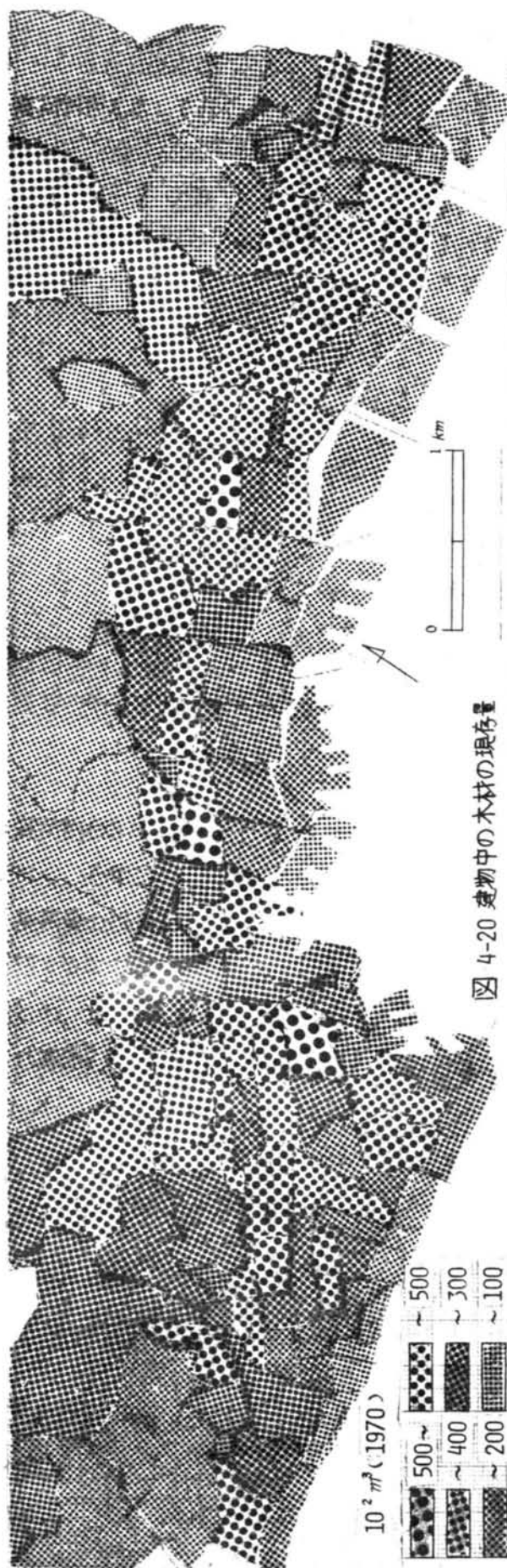


図 4-20 建物中の木材の現存量

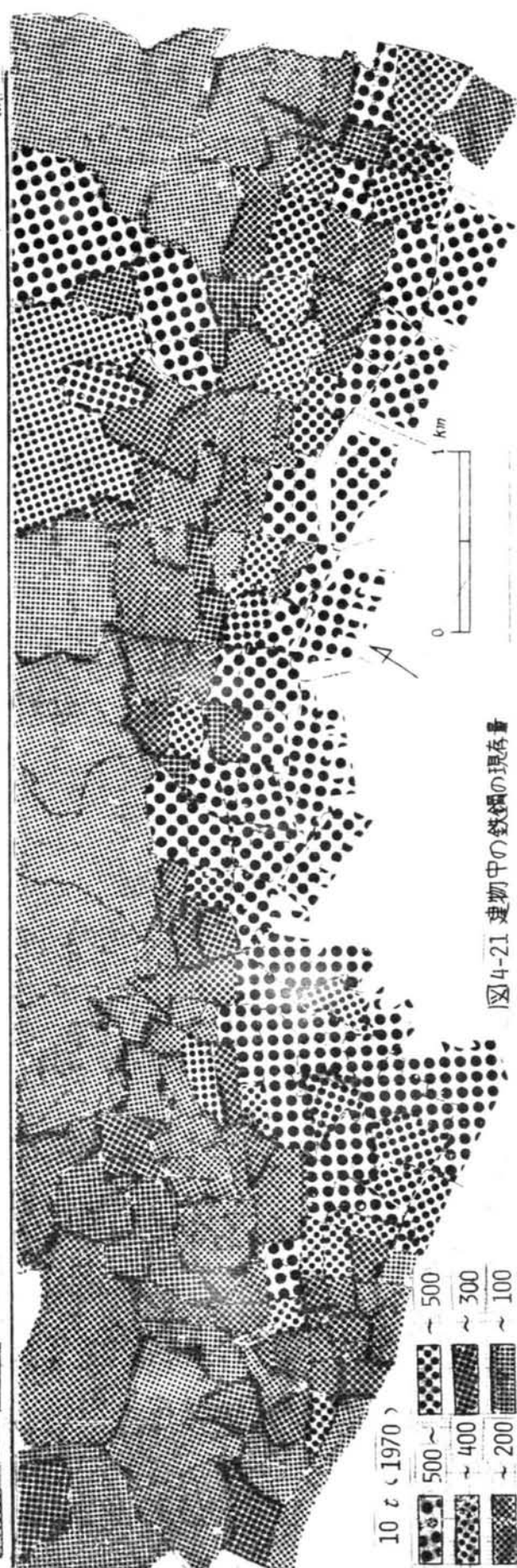
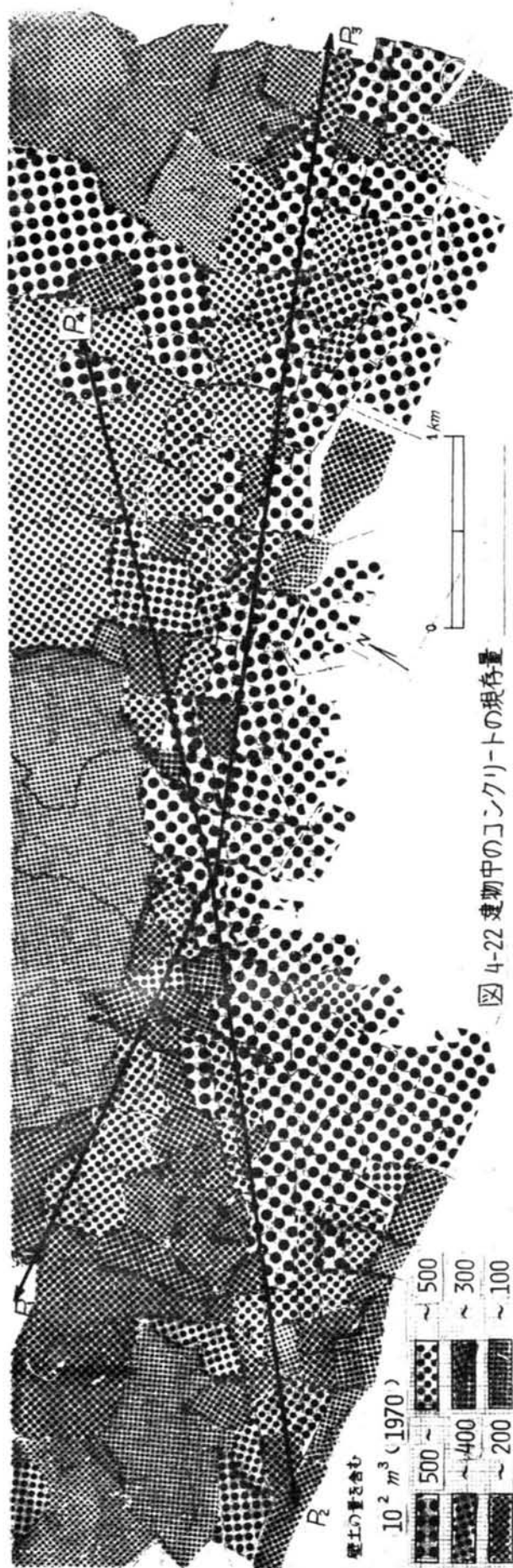


図 4-21 建物中の鉄鋼の現存量



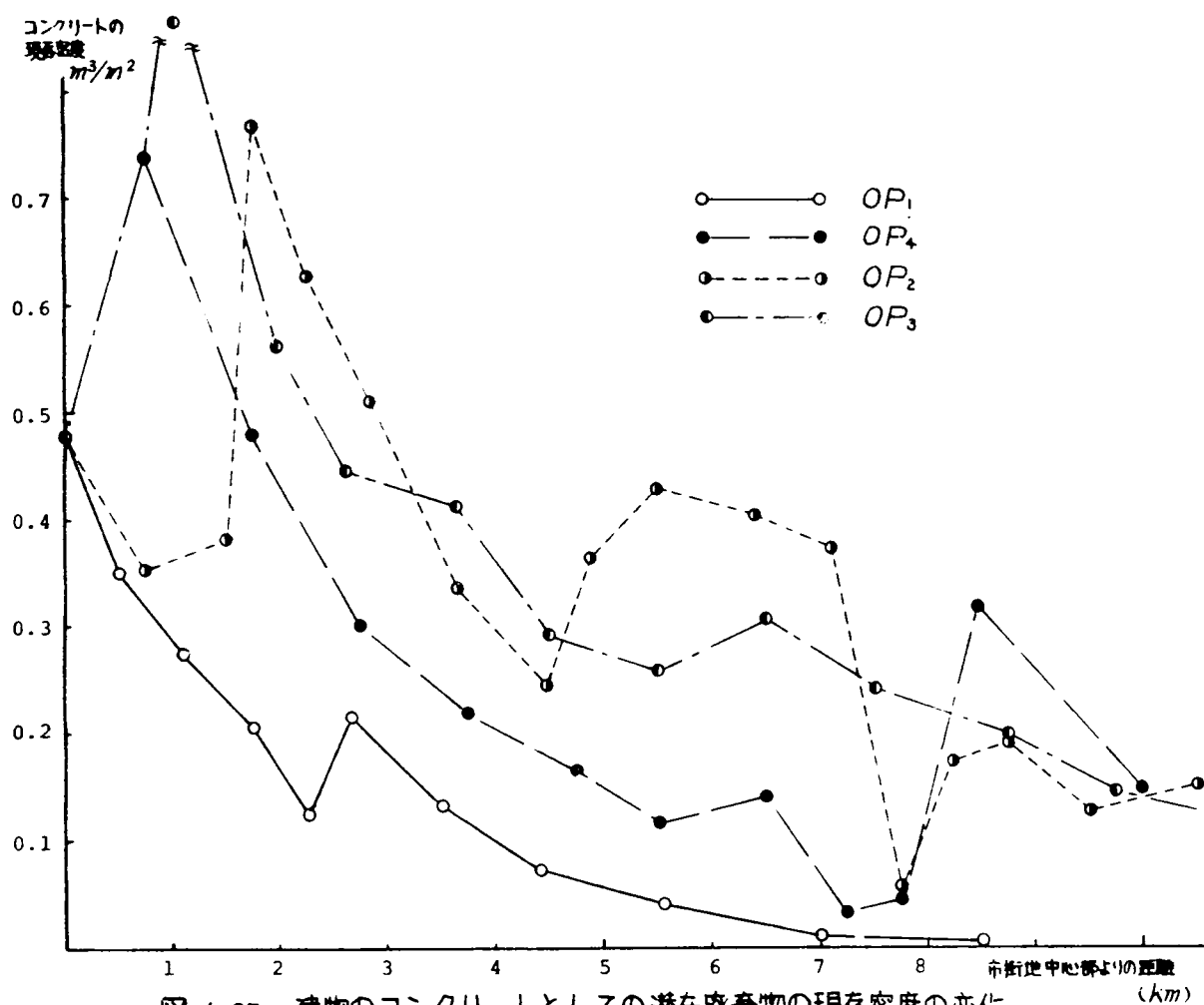


図 4-23 建物のコンクリートとしての潜在廃棄物の現存密度の変化

て、中心部から隔たるにつれて一様に減少しているとは見られない。しかし、図 4-23 向の特殊な場合 (OP_1) では現存密度は周辺に向かってほぼ単調減少しており、その方向が郊外への市街地発展の向きと一致しているところから、平野の中心部に立地する標準都市ではこのような単調減少のパターンをとることが予想される。^{*}

ついで、建物代謝の量的な関係を検証することとする。代謝についての一般的関係式は第 5 章で述べるが、建物の代謝をあらわす主要な量的因子は年齢別解除率（年齢別代謝係数）である。いま、瞬間廃用率関数 $f(t)$ とするとき、建築後 t_0 年を経過すると、累積値として $\int_{t_0}^{\infty} f(t) dt$ だけ減失していることになる。 t_0 年齢の建物量は、 t_0 年前に建てられた建物量を $I(t-t_0)$ として、次のようにあらわされる。

$$r(t_0, t) = \int_{t_0}^{\infty} f(t) \cdot I(t-t_0) dt \quad (4-13)$$

そして、 t_0 年齢に対する代謝係数は、 t_0 年齢の建物の減失量と現存蓄積量との比として、

^{*} 農業経営に関するチューネンの孤立団にみられる立地論と同様に理論的、抽象的な面が強い都市である。

$$k(\tau_0) = \frac{\int_{\tau_0-1}^{\tau_0} f(\tau) \cdot I(\tau - \tau_0) d\tau}{\int_{\tau_0}^{\infty} f(\tau) \cdot I(\tau - \tau_0) d\tau} = \frac{\int_{\tau_0-1}^{\tau_0} f(\tau) d\tau}{\int_{\tau_0}^{\infty} f(\tau) d\tau} \quad (4-14)$$

のようにあらわされる。

建物の平均的耐用年数は半世紀以上におよび、第2次世界大戦をはじめとする急激な社会変化のために、一般的に通用する累積廃用率関数、瞬間廃用率関数を実測値よりもとめることは困難であるので、ひとまず分布を仮定して減失量が斉合するかどうかを検討することとする。 $f(\tau)$ は $\tau=0$ より単調増加し、極大を転回して、それ以後はなめらかに単調減少するが、左右対象ではなく、 τ 軸の正の方向に尾を引くと推定される。このような条件に適合する分布としては、アーラン分布 (Erlang distribution) がある。平均値を $1/\lambda$ 、次数を s とするアーラン分布の式は、

$$f(\tau) = \frac{(\lambda s)^s \cdot \tau^{s-1}}{(s-1)!} \cdot e^{-\lambda s \tau} \quad (\tau \geq 0) \quad (4-15)$$

であらわされ、これを建物の瞬間廃用率関数として検討を進める。

式(4-15)を式(4-14)に代入し、 $\Delta\tau = 1$ では

$$\int_{\tau_0-\Delta\tau}^{\tau_0} f(\tau) d\tau \doteq f(\tau_0) \cdot \Delta\tau \quad (4-16)$$

であることを考慮すると、

$$\begin{aligned} k(\tau_0) &= \frac{(\lambda s)^s \cdot \tau_0^{s-1}}{(s-1)!} \cdot e^{-\lambda s \tau_0} \bigg/ \int_{\tau_0}^{\infty} \frac{(\lambda s)^s \cdot \tau^{s-1}}{(s-1)!} \cdot e^{-\lambda s \tau} d\tau \\ &= \tau_0^{s-1} \cdot e^{-\lambda s \tau_0} \bigg/ \left\{ \left[\tau^{s-1} \cdot e^{-\lambda s \tau} / (-\lambda s) \right]_{\tau_0}^{\infty} - \int_{\tau_0}^{\infty} \tau^{s-2} \cdot e^{-\lambda s \tau} (s-1) / (-\lambda s) d\tau \right\} \\ &= \tau_0^{s-1} \bigg/ \left\{ \tau_0^{s-1} / (\lambda s) + \tau_0^{s-2} \cdot (s-1) / (\lambda s)^2 + \cdots + (s-1)(s-2) \cdots 1 / (\lambda s)^s \right\} \end{aligned} \quad (4-17)$$

となる。

図 4-24 は、平均耐用年数を $1/\lambda$ として与え、いくつかの場合について $f(\tau)$, $k(\tau)$ を計算したものである。平均耐用年数の少ないほど $f(\tau)$ の値は大きく、同一の平均耐用年数に対して次数 s が大きくなればなるほど、モード $M (= (s-1)/(\lambda s))$ はわずかに大きくなり、その周辺で急激に廃物化することになる。なお、式(4-17)の $k(\tau_0)$ は $\tau_0 \rightarrow +\infty$ の極限值として $s \cdot \lambda$ を示すので、十分に長い期間を経過した古い建物の代謝係数は経年的にはほとんど変化しない。たとえば、 $(s, 1/\lambda)$ の組が $(3, 30)$, $(5, 50)$, $(8, 80)$ のいずれの場合にも、供用後の経過年数 τ が十分に大きいと、現存量のほぼ 10% が廃用 (建物の場合は除却, あるいは広く滅失という*) される。この代謝係数の値が極限值 0.1 の 70% の値に達する時期は相当異なり、上記の順に約 55 年, 120 年, 200 年であり、50% の建物が取り壊される時期は 25 年, 45 年, 75 年程度経過したのうである。

* 除却とは人工的に建物を取り壊すことであり、除却量と災害による取り壊し量を加えたものが減失量である。

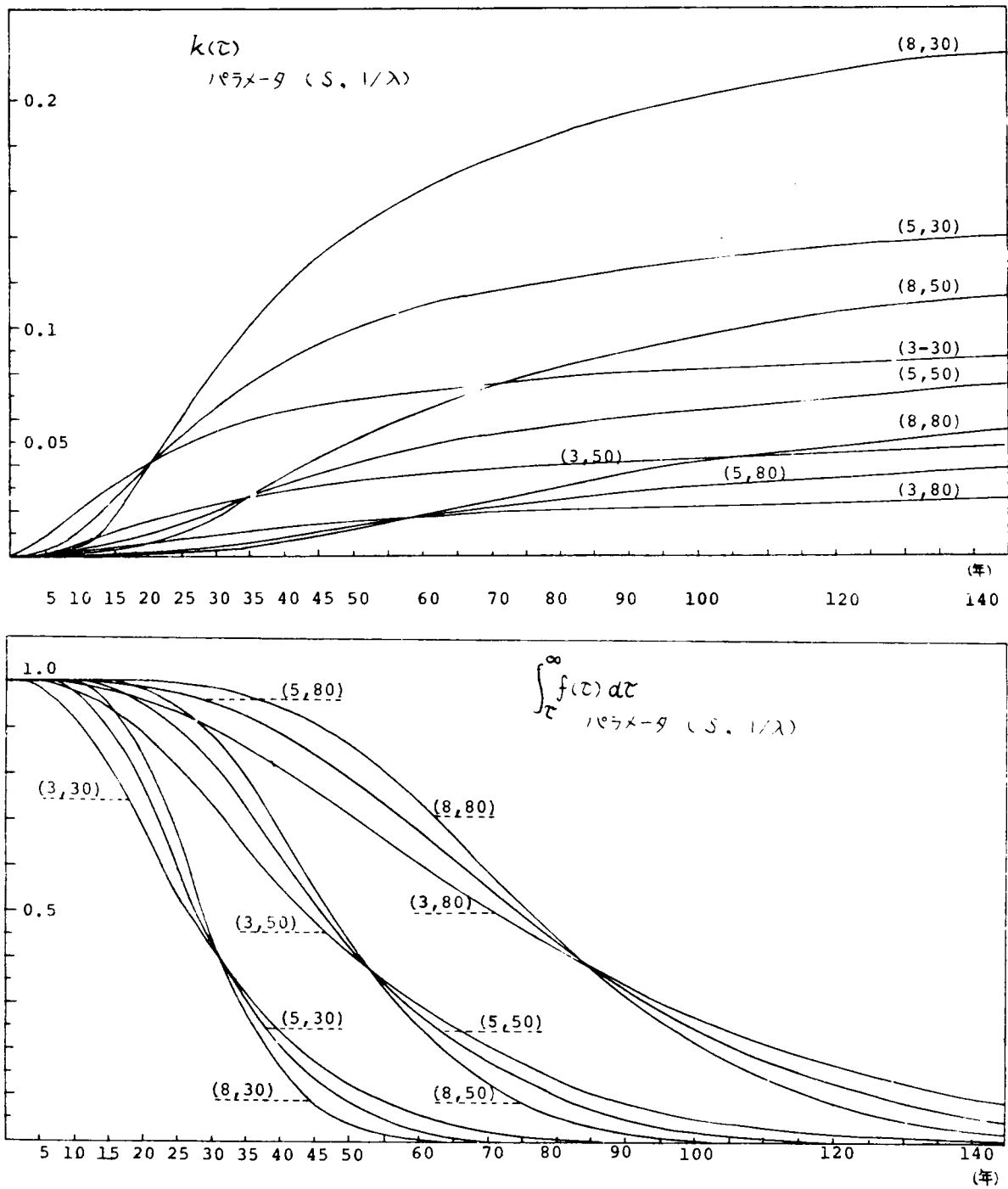


図 4-24 $f(t)$, $k(t)$ の時間的推移

表 4-9 の用途別構造別建築時期別の延床面積に対して、ひとまず表 4-8 の平均耐用年数を用い、アールン分布の次数を 5 として計算した結果を表 4-13 に示す。建築統計として確認されている除却建物延床面積の合計 ($15.7 \times 10^4 \text{ m}^2$, 1970 年) と比較すると、廃用率を与えて推定した方が少し大きい値を示している。1 つの時期の廃用量に合致するような廃用率は、たとえ関数形を制限したとしても、かならずしも一意的ではない。それゆえ、複数の年度の除却量、減少量に最も近い値を与

表 4-13 建物の滅失にともなう廃材発生量（神戸市，予測値）

用途種類	廃材種類		木 材	鉄 鋼	コンクリート・壁土	ガラス	滅 失
	予測時期		$10^3 m^3/年$	$10^3 t/年$	$10^3 m^3/年$	$10 m^2/年$	床面積 $10^3 m^2/年$
一般住居	TIME = 1		40.3	7.7	32.7	47.3	145.5
	3		49.3	11.0	41.3	58.2	198.6
	5		60.9	16.3	53.3	72.3	248.8
	7		68.6	21.6	62.9	81.9	284.6
農漁業家屋	TIME = 1		16.1	2.3	12.1	18.8	63.0
	3		14.2	2.2	10.7	16.8	55.6
	5		14.4	2.2	10.9	16.8	56.3
	7		19.0	2.9	14.4	22.2	74.5
併用住居	TIME = 1		8.1	2.7	7.1	9.9	33.2
	3		11.3	4.6	10.3	13.6	47.2
	5		16.1	7.0	15.2	19.6	68.3
	7		23.6	9.9	22.3	28.6	99.9
商業用建物	TIME = 1		2.1	5.8	6.4	2.7	14.1
	3		3.3	10.1	10.9	4.5	23.6
	5		6.5	17.4	19.2	8.2	43.0
	7		13.4	26.1	31.8	15.0	71.6
工業用建物	TIME = 1		7.0	20.2	20.9	3.7	51.8
	3		7.8	29.0	28.2	4.7	66.7
	5		12.9	42.7	42.4	7.2	103.1
	7		25.0	57.8	62.7	11.8	169.0
その他	TIME = 1		2.6	2.0	2.1	0.3	14.9
	3		3.0	3.7	3.1	0.4	18.6
	5		7.9	8.7	8.3	1.0	48.3
	7		24.3	20.3	22.7	2.8	139.8
合 計	TIME = 1		76.2	40.7	81.3	62.7	322.5
	3		88.9	60.6	104.5	98.2	410.3
	5		118.7	94.3	149.3	125.1	567.0
	7		173.9	138.6	216.8	162.3	839.4

注）廃材発生量の推定時期は次のとおりである。1(1970), 3(1980), 5(1990), 7(2000)

えるようにパラメーターの値を決定することが妥当である。表4-13の廃材発生量の予測値は、各年ごとに滅失量に相当する量を建設（用途も建築構造も滅失建築物のそれと一致させている建てかえである。）するという条件のもとで得られたものである。建物の用途別の廃材発生傾向は用途別の現存量の傾向とほぼ同じで、木材ならびにガラスでは一般住居からの廃物が多く、廃鉄では工業用建物からの廃物が多い。年数を経過するにしたがって廃材量は増加するという結果となっているが、一般住居や農漁業家屋では増加率が低いのに対して、商業用建物、工業用建物、その他の建物から

の廃材の増加率は大きい。仮定条件から用途別の構造別の建物量は不変であるので、増加率の差は基準年(1970年)での建物の年齢構成のうがいに起因している。すなわち、一般住居や農漁業家屋では比較的古い家屋が多いのに対して、商業用建物、工業用建物、その他の建物では築後年数の小さいものの比重が相対的に大きく、二つのグループに廃用(滅失)の時間おくれがあるからである。

表4-14は表4-13と同じ予測値を建築時期別に集計したものである。当初は年代の古い建築物の滅

表4-14 建物の滅失にともなう建築時期別廃材発生量(神戸市、予測値)

予測時期	建築時期	木材 $10^3 m^3$	鉄鋼 $10^6 kg$	コンクリート・ 壁土 $10^3 m^3$	ガラス $10^3 m^2$	滅失床面積 $10^3 m^2$	予測時期	建築時期	木材 $10^3 m^3$	鉄鋼 $10^6 kg$	コンクリート・ 壁土 $10^3 m^3$	ガラス $10^3 m^2$	滅失床面積 $10^3 m^2$
現在		5811.	895.	11162	7302	32874		1	10.98	9.56	15.02	11.29	52.92
								2	13.03	15.81	21.46	16.05	57.22
1	1	40.23	18.66	41.03	1.10	19.82	7	3	7.90	7.22	10.70	9.38	38.16
	2	21.94	14.40	26.79	24.81	100.30		4	.07	.00	13. .	10.84	44.94
	3	6.28	3.32	6.29	6.81	28.09		5	13.13	13.86	19.54	15.61	72.89
	4	3.94	2.14	4.09	4.34	17.76		6	18.68	21.92	29.62	22.09	97.04
	5	2.57	1.49	2.74	2.45	11.77		7	23.71	30.18	38.13	27.71	121.82
	6	1.37	12.57	1.17	0.95	4.93		8	16.69	7.40	16.48	11.23	74.14
3	1	28.04	15.9	31.07	32.03	124.96		9	18.60	8.10	17.73	13.34	83.59
	2	21.67	17.22	27.98	25.36	102.39		10	19.04	7.70	16.96	10.74	94.22
	3	9.10	5.71	9.97	9.81	41.19		11	15.60	5.54	12.61	6.55	72.51
	4	7.92	5.21	9.10	9.16	36.34		12	17.61	2.34	5.57	2.41	35.77
	5	8.34	5.83	9.80	8.78	38.80	9	1	6.35	6.92	9.95	7.92	32.42
	6	7.52	5.89	9.26	.66	36.06		2	8.55	13.17	16.59	11.03	47.71
	7	4.72	4.10	5.93	5.69	24.26		3	5.83	6.62	9.00	7.22	29.74
	8	. . .	3.58	1.39	0.90	7.37		4	7.19	8.92	. . .	12.02	37.82
5	1	18.08	12.65	22.06	21.29	83.35		5	11.20	14.72	19.23	13.89	60.00
	2	17.79	17.47	25.85	21.47	88.01		6	17.59	25.59	32.24	21.80	96.92
	3	9.37	7.05	11. .	10.69	43.52		7	25.12	39.41	46.93	31.18	141.42
	4	9.66	7.78	12.42	11.22	45.87		8	18.66	8.70	18.94	17.62	81.49
	5	12.52	10.71	16.45	14.15	60.28		9	23.84	11.31	24.04	20.30	105.62
	6	1. .	14.55	21.17	16.97	75.57		10	30.00	13.91	21.11	21.81	135.09
	7	15.57	16.24	21.94	17.05	78.43		11	35.58	15.32	32.56	20.78	162.98
	8	9.60	3.94	8.92	6.80	43.08		12	36.56	13.90	31.51	16.38	169.76
	9	7.21	2.74	6.32	4.01	33.01		13	28.11	9.24	21.26	9.55	131.82
	10	3.58	1.23	2.88	1.4	16.73		14	12.58	3.60	3.74	3.36	59.34

注) 予測時期 1.(1970), 3.(1980), 5.(1990) 7.(2000), 9(2010)

建築時期 1(1925), 2(26~1945), 3(46~50), 4(51~55), 5(56~60), 6(61~65), 7(66~ . . .), 以下5年間隔

失が多いが、序々に新しい年代の建物も廃物化してくることを示している。計算条件どおり推移すると、30年後には建築時期 6 (1960~1965) の建物よりも建築時期 1 (~1925), 建築時期 2 (1926~1945) の建物の方が滅失が少なくなっている。この計算では、滅失建物に対しては同じ構造、同じ用途の建物を補充するものとしているが、政策にもとづいて異なった計算も実行できる。

4-5 航空写真調査の課題

4-5-1 環境調査としての航空写真調査の課題

航空写真から環境情報を正確に収集する上での課題は、三刺激値 X, Y, Z をはじめとする指標を用いて色彩を表現する段階と、それ以前の指標の値を正しく得る段階の課題に入きくわけられる。色彩を表現している物理量の対応から地上物体や土地利用形態を判定する上にも課題があり、それは、刺激値などの指標値に対する統計処理をいかにこなって判定精度を高めるかという点に集約できる。本項ではこれらの点に加えて、写真調査と平行して目測による潜在廃棄物の評価を導入することや、質問紙調査を併用して潜在廃棄物の現存特性を把握することなどについて述べる。

写真濃度のみを測定する従来の写真分析に比較すると、パנקロ写真の濃度にほぼ等しい視感度 Y のほかに赤系統、ならびに青系統の光に対して高い値を示す X, Z の値を測定しているの、地表種類の判定能力は高くなっている。しかし、4-4-1 で示した判定基準では x, y とともに 0.01 ずつの間隔で地表種類を対応させているので、色度図の中心付近では三刺激値 X, Y, Z に約 3~4% の誤差があれば誤った判定がなされる可能性がある。一般に地表面の色彩の刺激純度は低いので、色度図の中心付近での判定能力を高めるためには、 (x, y) と Y 値を組みあわせた立体的な判定基準がより適切である。すなわち、 (x, y) 平面に直交する軸上に Y 値をとり、 x, y, Y の範囲ごとの空間に地表種類を対応させるものとし、より多くの地域を対象に調査を実施することにより、それを一般性のある基準として確立してゆくことが必要であろう。

さて、航空写真を分析する過程での妨害情報を整理すると、表 4-15 のようにまとめることができる。このうち、撮影より写真焼付までの段階での系統誤差に対しては、写真の被写体の一部に標準色彩板を入れることによって修正が可能である。パנקロ写真においてはグレースケールが用いられているが、カラー写真の場合には 3 つあるいて 4 つ程度の原色（色彩ならびに光の三原色）ならびに白色、黒色のパネルを地表面において撮影するのが望ましい。

航空写真の半学的分析によって地表種類の判定をする場合において、その精度は写真の目測あるいは踏査による判断との比較で計算されていることが多い。すなわち、写真面の被写体の判定はかならずしも物理的な因子の値に還元しておこなわなければならない必然性はなく、可視部における人間の視覚のもつ総合性が再現性と一般

表 4-15 妨害情報ごとの系統誤差の減少法

	系 統 誤 差 を 少 な く す る 方 法
撮 影 条 件	一般的には夏季の正午で快晴のときに撮影する。標準パネルを同時に写す。
現 像 条 件	薬剤の調整をおこなう。
送 付 条 件	薬剤の調整をおこなう。露出時間と薬剤への浸潤時間を一定にたもつ。
分析用光源	光度が長時間にわたって安定する光源に変える。
刺激値対応フィルター	三つのフィルターに測光を分割して同時に測定する。アリスミを利用して光の波長別エネルギーを測定する。
写真走行の同期性	走行装置の精密化。二次元走行を自動化する。
交光電流の検出・表示	増巾ならびに検流回路の機能をあげる。雑音防止につとめる。

性とをもつように工夫をすればよいのである。そこで、航空写真の板写体の種類や質的な差異は目測に依存して、その面積、分布などの量的な把握を物理的因子の定量的説明によっておこなうことが妥当であろう。

以上のことから、環境調査としての航空写真調査の課題としては次の二点が重要であろう。第一には潜在廃棄物環境の現存量の算定の手段としての面から、地表種類ならびに潜在廃棄物量の個々のデータを地域の指標として変換してゆくための検討である。すなわち、潜在廃棄物環境は実空間では特徴をもったいくつかの区域から構成されており、光学的指標の値の羅列ではその特徴も境界も見出し得ない。4-4-1では第一段階として地表種類の地区化ならびに、コレログラムを用いた表現をおこなっているが、たとえば、4-4-2で示れた区域老朽度に相応するような区域の指標を作成する方向をとるべきであろう。区域の地表種類あるいは潜在廃棄物の種類あるいは量を統計量とみて、平均値、分散、エントロピーなどを算定する試みとともに、周辺の種類あるいは量との関連でパターンとしての指標を導入することが不可欠であると考ええる。

第二には、潜在廃棄物環境の直接的評価法としての面から、完全廃棄物の量、潜在廃棄物の有用期間の経過割合などの判定のための基準を作成することである。地上写真をもちいて、あるいは目測によって、蓄積している完全廃棄物を確認したことを大規模化することになるともいえるが、人間の目による判読が当面は主流であるので、基準の優劣が結果を大きく左右する。

潜在廃棄物のなかで量的に大きな割合をしめる建築物については、従来の市町村単位の統計に加えて小統計区や地域区分メッシュ（多くは0.5, 1, 2 km 平方である。）ごとの資料が整備されつつあり、地域の平均値を対象とするかぎりにおいては航空写真による現存量の算定にはとくに大きな意味はないだろう。さらに、他の物質の現存量、蓄積量の把握のためには個別の資料にたよるを得ない面が強い。都市空間で現存している潜在廃棄物の種類については表4-16に示すが、都市施設のレベルのいくつかが航空写真で観察されるにすぎず、量的には大きい種類は少ない。耐久消費材や機密類の現存量は、家庭や事業所の所有量でもあり、主として次章で述べる質問紙調査によって把握される性格をもつ。化合物レベルの潜在廃棄物の現存量に対しては、現段階では一般的な調査法を提示することはできないが、一段上の階層に属する物質（製品レベル）に対する質問紙調査の結果をもちいて、その現存量あるいは代謝量に原単位を乗じる方向と、化学物質の定量分析をともなった野外調査の方向があると考えられる。潜在廃棄物環境というモデルの視点から都市の物的要素をみると、その現存・蓄積がきわめて重要であるにもかかわらず状態や量が不明である場合が少なからずある。指標物質としての環境汚泥に関しても同様の事情にあり、汚泥の蓄積量の把握のために実施した調査⁶⁵⁾は他の物質についても参考になるであろう。

4-5-2 航空写真調査により把握された環境の構造に関する課題

前項で述べたように航空写真調査ならびに分析法について今後に残された課題が多くあるが、ここでは潜在廃棄物ならびに完全廃棄物の蓄積という点から環境の構造をあきらかにするための課題について若干述べる。

4-4-1では、航空写真を照射して得られた建物の屋根の刺激純度 S の値が、屋根が建造された後の経過期間によって減少することを見出したが、この傾向に基づいて概略的な建築年度の推定を実施するまでには到っていない。これは、屋根の色彩が時を経るにつれて彩度を減じるという背景がありながらも、現状では写真ごとに検定曲線を作成しなければならないことや、各建物の建築年度は煩雑ではあっても「建物台帳」に相当する資料から正確に把握することが可能であることを重くみただけである。しかし、質的な階層別に潜在廃棄物現存量を算定するという初期の目的からすれば、かならずしも正確な建築年度は必要なく、地域ごとの刺激純度の平均値や分布から老朽度を表現することには意味があるであろう。前項で述べた調査・分析法の改善に留意しながら、より広い地域を対象として航空写真調査を実施して、街区程度の区域ごとに比較をおこなうことがまず必要であろう。

富山平野の小さい集落での土地利用形態について三枚の年次の異なる航空写真を観察した結果では、建物の増加と緑地の減少が目立つにもかかわらず、刺激値 Y のまとまった変化は少し確認されたにすぎなかった。潜在廃棄物の現存量の変化は、この観察からも、きわめてゆっくりとした長期的変化であることが再確認された。短時間に連続して撮影してその差を検討するという利用の場合も含めて、蓄積現存量に対するインプット、アウトプットもまた航空写真で観察される点は重要である。逆にいえば、航空写真で一時期のみの現存量を算定するとその測定値の解釈は他の調査に相等依存せざるを得ないのに対して、複数の時期での現存量の把握はそれ自身、潜在廃棄物環境の解析を可能とする部分をもつ。

航空写真を用いた分析が土地利用形態や地上物体の判定や現存物質の確認に有効であることは、本章での検討によってあきらかであるが、一方では、カラー写真の走行実験での地表面の自動的判定が十分な正確さを欠いていたことにもみられるように、航空写真分析は単独では限界がある。その分析も現存物質の同定に必要な手続きを確立することに主眼をおいてきたので、分析結果から直接に現存特性や環境構造を論じることは限られている。しかし、現存物質を航空写真を用いて同定する手続きの骨格はほぼ組み立てられたといえるので、今後、分析結果や調査結果を比較・検討することの基礎的な条件は整っている。

本章で具体的に検討を加えた現存物質 (standing mass) は、建築物と航空写真によって観察された土地利用形態・地上物体である。都市内で現存している物質は多種多様であり、表5-21に示す代謝形態と類似の分類も可能であろう。ここでは、航空写真調査の限界をもあわせて示す意味で、現存物質を階層ごとに整理し、それぞれについての航空写真調査の有効性を付記するものとする。

表 4-16 現存物質の種類

種 類		現 存 物 質	特 徴
目 然		河川、池沼、森林、街路樹、庭木、 自然（表層水、地下水） 各種土壌（田畑）、岩石	現存規模が大きいため、航空写真分析が有効である。
システム 構築物	拠点施設 建築関連	住宅建築、図書館・公営室などの公共建築 工場建築物 地下街・商店街	建物の密集度や着工・開発の動向を認識し、航空写真分析は有用である。 建物密集度など、航空写真分析は困難。
	拠点施設 土木関連	防潮堤、護岸、ターミナル施設 歩道橋	市街地のスプロール、航空写真分析は有用である。 施設の観測は建物よりも困難。
	脈絡施設 ならびに 付属施設	道路、橋梁、鉄道 上水道、下水道、配電施設（電柱）、配ガス施設	広範囲のネットワークであるので、現状把握には航空写真分析の長所が生かされる。地下埋設物の存在による確認は困難。
製 品		家庭用耐久消費財、事務用機器、 生産用機械器具	航空写真によって一部は把握されるが、航空写真の観測はほとんど無意味であろう。
混 合 物 (混合物を含む)		鉄鋼、紙、プラスチック 食料品、水、各種燃料	現存物質の循環、現存量の定量化に 対して、航空写真分析は無効である。

4-4-2では、建物として存在する潜在廃棄物の分布特性について考察し、建物滅失にともなう廃材の発生量を予測する例を示した。分布特性も発生量予測値も対象とする地域によって異なるので、得られた分析結果は一般性を有しているとはいえないが、興味深い二、三の点があきらかとなった。現存量の大部分をしめる壁土を含むコンクリートと木材の和を比較すると、非住宅と住宅の現存資材量の比はほぼ1対1.7であり、産業系の比重が比較的低い。市街地中心から周辺部に到るコンクリート（壁土を含む）の現存密度の減少は直線的ではなく、中心からの距離に関する現存密度の減少率が遠減することがみいだされた。他の地域に関する同様の試みによって、潜在廃棄物の現存特性はより明らかとなるであろう。

建物滅失にともなう廃材発生量の予測では、建物用途別、建築時期別、構造別の建物量の割合が値に入大きな影響を与えることがあらためて確認されたが、その最も重要な部分は今後の課題として残されている。廃木材に対する廃鉄、ガレキ（コンクリート、壁土）の比が増加するという結果は、着工当初の不燃化の傾向を組み入れて計算することによって、さらに増幅されるであろう。また、市街地中心部の徹底、変更によって建築物の現存特性は変化するので、将来の潜在廃棄物の現存状態の予測、発生廃材量の推定に際して、それらの動向をプログラムに組み込む必要がある。現存状態を示す重要な因子として老朽度があるが、本論文では、建築後の経過年数の標準的耐用年数に対する比を延床面積で重みづけして平均化した値を代用指標として、変化を観察した。4-4-2の予測時期と対応して、1(1970),2(1975),3(1980),4(1985),5(1990),6(1995),7(2000),8(2005),9(2010)の各時期の順に、0.364,0.390,0.408,0.419,0.424,0.425,0.426,0.427,0.430 となっており、老朽化の進行を見いだすことができる。街区ごとに滅失建築物の補充や新規着工の条件を与えてシミュレーションを実施することによって、さらに有意義な成果が得られるものと期待されるが、その場合には、市街地再開発の波及効果などの街区間の相互関係を十分に検討する必要があるだろう。

第5章 質問紙調査による社会的代謝の研究

5-1 概説

本章は、環境を構成する潜在廃棄物が廃物として顕在化してゆく人工的なサイクルを社会的代謝としてとらえ、この律速因子相互間の関係について質問紙調査を実施して得た結果を中心に考察するものである。まず環境調査としての質問紙調査の役割をのべ、質問紙調査を用いた関連分野における従来の研究を紹介し、調査の方法について概観する。社会的代謝を分類して、二つの基本モデルを提示して代謝構造のフレームを作成することを試み、ついで家庭ならびに産業の各段階での製品を対象とした質問紙調査をおこなって、それにもとづき、流れとしてみた社会的代謝の実態と構造について考察する。また、質問紙調査の改善の方向についても言及するとともに、社会的代謝の構造をより綿密に把握するための課題についてもかれる。

すなわち、5-2-1 では人間の意識と行動に反映した社会的代謝を解析する質問紙調査の意義について述べ、5-2-2 で質問紙調査を用いた関連分野における従来の研究を総括する。5-2-3 では、質問紙調査を環境調査として実施する場合の調査方法について、標本抽出や質問紙の作成、実施方法などの点に関して述べる。

5-3-1 では、代謝の形式と基本機能と対象物質の階層によって社会的代謝を分類し、代謝構造がそれぞれによって異なることを示すことを目的とする。5-3-2 では、社会的代謝の流れとしてみたモデルとして、単一フローモデルを提示し、貯留量に対する廃用量の比であらわされる代謝係数が重要な指標であることを述べる。代謝係数については、すでに第4章でも部分的に検討した。5-3-3 では、つづいて、代謝係数の重合体モデルを提示し、社会的代謝の量的側面の概念をよりあきらかにすることを試みる。代謝が複数の段階で構成されていると考えられる場合におけるその機能を合成することによって、従来の計画概念になかった評価構造が導かれるはずである。

5-4-1 では、家庭を単位として営まれている物質代謝を概観し、その歴史的変化を中心に考察する。5-4-2 では、家庭を対象として実施した質問紙調査の結果について述べる。耐久消費材の購入から廃用の過程の解析を中心に論じ、非定常代謝過程の一つの定式化をおこなうとともに、耐久消費材による家庭空間の占有を二つの段階にわけ、それぞれについて量的な考察をおこなう。

5-5-1 では、産業における物質代謝の現状と歴史的経過を概観し、潜在廃棄物環境の代謝の実質的原動力ともいえる生産が、環境の代謝の面から管理されるべきであるという背景について述べている。5-5-2 では、5つの指標物質を採用して、流れとしてみた代謝の量的関係をあらわす潜在廃棄物現存量や廃用量の動向について考察する。鉄鋼に関しては生産と加工のいくつかの段階のフローを記し、より詳細な検討を加える。さらに5-5-3では、事業所に対するアンケート調査の結果をもとに、産業段階での投入産出分析を試み、原材料投入量と廃棄物発生量の関係を示す変換マトリ

ックスを作成する。

5-6-1 では、質問紙調査が環境調査として成立しうるために改善すべき点について考察し、さらに、社会的代謝を把握する他の関連調査についても示される。5-6-2 では、生産ならびに消費という社会現象を、潜在廃棄物環境の解析の一環として検討することで、今後に残されている課題について総合的にまとめておきたい。

5-2 社会的代謝に関する質問紙調査の意義と調査法

5-2-1 質問紙調査の意義

人間生活に必要な多種の物質のほとんどは、近代的工場での大量生産に依存しており、農業生産や漁業生産においても人工的な条件が大きな影響を与える工場生産的な要素が強くなってきている。大量生産システムは品質の向上、価格の低減などの有利な面がある一方、過剰生産ならびに消費者に対する供給圧をもたらしながら、大量消費型の生活構造を生みだしている。

その結果、発生した廃棄物は環境に悪い影響を与えるが、その背景はすでに廃棄以前、とくに生産段階にあるといっても誤りではない。しかし、数年前までは、廃棄以前へ逆のぼった研究はきわめて少なかった。おおかたの計画視点は、急増する廃棄物に対して焼却炉などの必要施設能力を決定するために廃棄物発生量の推定をおこなう点に向けられていた。推定の方法は過去の発生量原単位の値のトレンドを用いるのを基本とし、推定値にゆきもたせてマクロな安全率を乗じることであった。しかし、廃棄物発生という複雑な系を、出荷額あたりの廃棄物発生量という形で簡単にあらわすことは、安定性のある系でないかぎり困難であって、少なくとも原単位の傾向が何によって規定されているかを問題としなければならない。しかも、廃棄物問題にとって廃棄物の発生の段階はきわめて重要な問題であり、発生量を単純な与件として考えることは、環境問題としてみる時にはますます不適当であろう。いいかえるならば、廃棄物の発生量を少なくすることや、処理処分しやすいかたちで排出することも含めて考察することが、上記の二つの関連する問題に有効であるという立場をとらなければならない。

以上の視点からは、人間の生活空間に投入され、生産・加工され、廃用されるという一連の流れ、すなわち社会的代謝の実態をあきらかにすることが第一の課題となる。社会的代謝は生産と消費の高度化にともなって複雑な様相を示している。極めて多くのものが用いられて廃棄されており、一見まったく無秩序な運動であるが、適切な指標を用いると統一的な解釈が可能である。具体的には代謝の断面における単位時間あたりの代謝量や実空間での移動速度をはじめとする主要な諸量をあきらかにすることが必要となる。生産統計はかなりの程度まで整備されているが、流通段階での既存の資料は少なく、全般的に場所の範囲を恣意的に決定した場合や地域間の動きを問題にする場合には、独自に調査を実施する必要性が高い。廃棄物発生のように、直接的な経済的関心の希薄な段階に関する資料は従来は少なく、最近にいたって環境問題や外部不経済の追究に関する関心の高まりとともに、公的な統計が断片的に得られるようになってきたにすぎない。

このような事情のもとで、資材や製品の購入、輸送あるいは使用をおこなっている事業所や家庭の当事者から、その行動や意識についての回答を得ることはきわめて有意義である。環境調査としての質問紙調査 (questionnaire survey) は、個々の潜在廃棄物の代謝の原動力であるところの生産単位あるいは消費単位の関係者に対して、潜在廃棄物の取扱いや代謝に関する事実、行動、意識

などについての質問紙を配布し、その回答から潜在廃棄物環境の構造を把握するものである。

潜在廃棄物環境を対象とする調査の第一の目的は、事業所や家庭への物質の流入量、貯留量、流出量を知ることであり、質問紙調査では購入量、保有量、廃用量を種類別に回答する形式をとることになる。のちに述べるように、代謝過程にはいくつかの段階があって、購入量と流入量、保有量と貯留量、廃用量と流出量がそれぞれ同一の内容をもつものとはかぎらないので、質問項目はどの段階の値を問うているのかを回答者が理解できるように明確に表現しなければならない。いずれにせよ、これらは代謝段階での諸量の客観的事実という点から規格化しやすいが、被験者の行動、意識にはかなり主観的な判断が含まれているので、質問内容の決定も回答の分析も十分な検討がともなわねば十分な結果は得られない。

第二の目的は、被験者の行動や意識に関する回答から、代謝の各段階での特徴的な現象の背景、原因を把握することによって、潜在廃棄物環境の経時的な代謝構造をあきらかにすることにある。たとえば、5-4-2で述べるように、耐久消費材の廃用理由を問うことは、単に消費者の心理を知るためではなく、潜在廃棄物環境の重要な構成要素の廃物化の主要な原因を知るためにおこなう。2-3-2において強調したように、現状を精密に定量的に解析するだけでは環境調査の役割としては不十分である。行動や意識にあらわれている種々の傾向を整理し、現状の代謝構造にみられる欠陥を是正することや、それに関連して設定する新たな環境サイクルと住民との応答を指定することの有力な手がかりとしなければならない。質問紙調査には現状の固定的なものが少なくないが、時間を重要要素として組み入れることや条件の変化にともなう挙動を考察することをはじめとして、計画化のための新たな視点をもつことに留意すべきであろう。

5-2-2 質問紙調査を用いた関連分野における従来の研究

質問紙調査は社会科学においてきわめて多く用いられてきた。なかでも社会学と心理学においては調査法として大きな位置をしめてきたので、従来の研究も当然のことながら多岐にわたり、その全貌を示すことはできないし、また論文の性格からしても不適当である。そこで、社会科学における質問紙調査法について若干かれるにとどめ、建築学や土木工学などの工学分野での適用例をあげて、その特徴について述べることにする。

福武⁶⁶⁾によれば、社会的生活関連をとらえる社会調査において資料を収集する技術的方法のひとつとして、質問紙法 (questionnaire survey) があるという。そして、事実や意見を多くの人々から客観的な方法で記録する方法としては、調査票と質問紙 (schedule and questionnaire) を用いる方法は最も重要であり、面接調査法 (interview method) と質問紙法が大きな位置をしめている。社会調査の歴史についても要約されているが、国内での社会調査の本格的発展は第二次大戦以後におこなわれている。しかし、高野らによって実施された「月島調査」⁶⁷⁾ならびにいくつかの家計調査⁶⁸⁾

では、明治前期の都市下層社会の観察記⁶⁹⁾の問題意識をうけつぎ、科学的な調査と称しうる段階に到達している。これらの家計調査の品目がその後の国の家計調査に基本的に継承されているのをみても、その重要性は理解できるが、内容的にも生活構造の特性を把握しようという試みがなされている。「月島調査」の報告には上水道、下水道、排便状況などについても記述がなされ、塵芥の搬出量の月別の値や一戸あたりの値も調査されているのは興味深い。

質問紙調査法については統の総括的な著作⁷⁰⁾があり、技術的方法論は前述の福武の著作とによってほぼ明らかにされているといえる。質問紙の構成の優劣や調査員の記入の正確さの程度が結果を左右する場合があります、調査の実施面にも留意しなければならない。さらに、対象の特性を把握する上で種々の指標をもちいて定量的考察を加えることが一般的になるにつれて、統計学的検討や測定尺度の検討が重要となっており、質問紙の作成とこれらの検討が現在では不可分となっている。

質問紙調査で用いられる測定尺度にはいくつかの種類があり、対象や視点のうがいに応じて数多く提案されている。個々の測定尺度は別としても、被験者自身の意識や所有物などの量的特性を測定する尺度と、被験者が直接には自らのものではない事象に対して評価をおこなう形式をとる測定尺度があり、しかも相互に関係を有することについては従来の研究をもとに理解しておく必要がある。

さて、土木計画分野では土木構造物との関連にかなりの重点をおいていることもあって、質問紙調査が中心に位置づけられている研究は多いとはいえない。しかし、住区内の歩行者交通発生量を調査している例⁷¹⁾をはじめとして、交通工学ではパーソントリップや自動車トリップなどが質問紙を用いて調査されている。OD調査などではすでに調査自身が固定した作業と化している面があるが、これらの分野だけにとどまらず、解析と計画化に独創的な視点を設定するときには、かならず調査にも修正、工夫が加えられなければならない。また最近では、システム工学的なアプローチなどによる問題の画一的な設定のみでは都市や地域の構造を解析するには不十分であるとの認識から、住民の意識を把握しようという研究が多くの分野でおこなわれつつある。住民の意識をもとに生活環境の評価を試みている研究⁷²⁾もその例である。

地域計画・都市計画においては、従来より質問紙調査によって住民意識の構造を抽出し、それをもとに計画を進めてゆくアプローチがかなり定着していたようである。戦前、戦後の家計調査をもとに住居費支出を考察した研究⁷³⁾は本論文の内容にも関係がある。市街地における子供の遊び場と自動車交通規制に関する調査研究⁷⁴⁾、だんらんに関する調査研究⁷⁵⁾、市街地住宅における日照条件に関する調査研究⁷⁶⁾など是一群のユニークな研究方法を形づくっている。これらの研究は複雑な数理的手法に依存せず、プランナーの視点にもとづく計画論理を前面に押し出しているのに対して、因子分析をはじめとする多変量解析や統計理論を導入するアプローチやモデルによる定量的なアプロ

ちも多くなりつつある。また、都市計画における住民意識研究⁷⁷⁾という報文では、同じ著者による一連の研究^{78), 79)}を受けて、住民意識研究の視点についてまとめがなされており、既往研究の紹介もきわめて貴重である。

以上、質問紙調査をもういた関連分野での研究の一端について記してきたが、やはり、調査と計画との関連にたえず留意し、計画的な努力により調査の高度化に努めることが必要である。

5-2-3 質問紙調査の実施法

潜在廃棄物の代謝をあきらかにするための質問紙調査は、通常は標本調査の形態をとる。限られた狭い地域の調査などで被調査者の数が少ない場合を除いては、悉皆調査は一般に困難である。ただし、ある集落について航空写真調査と断面流動調査を実施する場合には、それらの調査内容と各合させるために質問紙調査についても悉皆調査とすることの意義は小さくない。標本調査では全体を代表するような標本を母集団より抽出することが重要な課題である。統計理論上は無作為抽出法(random sampling)による標本抽出が望ましいが、そのためには母集団の台帳に相当するものが必要である。作作為抽出法には等間隔抽出法、層化抽出法、多段抽出法をはじめいくつかの方法がある。産業中分類ごとの廃棄物の発生特性を調査する場合には規模別に層化することが有利であり、第三次産業を対象とした質問紙調査では電話帳を使って等間隔抽出法を採用するのが簡便である。

無作為抽出法は標本誤差を少なくする抽出方法であるが、母集団の着目している特性に関連して階層がみられる場合には、無作為抽出法の長所を生かすには多くの標本が必要となる。潜在廃棄物環境という視点で対象をみるとときには、母集団の構造についての知見はとぼしく、他の視点からみた個体の特性に関する知識も参考とならない場合も少なくないので、研究の最初の段階で抽出の厳密さを第一に求める必要はない。質問の回答にかなりの注意がいる場合には、特別の協力を得ることのできる被験者のみを選ぶことが、偏りがあることが短所であるとしても、妥当である。また、物資流通量に着目するとき、その大部分が数少ない事業所に集中しているとすれば、全体量を追究する範囲内においてはそれらの事業所のみ調査を限定することは許される。

本章で検討を加えている質問紙調査の事例は、一つの調査をのぞいて、廃棄物発生量の把握を目的に実施されたものであり、潜在廃棄物環境の構造を追究するための独自の質問項目はそう多くはない。それぞれの結果の考察は5-3以降におこなうこととして、調査条件について表5-1にまとめておく。また、各調査の質問紙あるいは調査票のうちで関連する部分のみを表5-2として掲げておく。

表 5-1 質問紙調査の調査条件

	(Ⅰ) 家庭での 物質代謝	(Ⅱ) 耐久消費材 の廃用	(Ⅲ) 耐久消費材 の廃用	(Ⅳ) 製造業における 投入・産出	(Ⅴ) 製造業におけ る資材・廃物の貯
質問紙調査の実施機関	環境計画研究室	産業衛生工学研究室	神戸市環境局	兵庫県衛生部	廃棄物処理対策研究
実施機関の目的、視点	家庭での物質代謝	粗大ゴミ発生	粗大ゴミ発生	産業廃棄物発生	産業廃棄物発生
標 本 抽 出 法	地図上抽出	有為抽出	有為抽出	無作為抽出	有為抽出
被 験 者	松原市住民	阪神間7市の 清掃(市政)モニター	神戸市婦人会役員	兵庫県の製造業事業所	富山県の製造業事業所
回 収 数	121	596	411	関係分約 200	524
回 収 率	50 %	85 %	94 %	不 詳	38%
実 施 時 期	1968・11	1969・8	1970・8	1971・8	1971・11
調 査 形 式	面接調査、翌日回収	郵送調査	郵送調査	郵送調査	郵送調査

表5-2(その1) 質問紙調査(調査〔Ⅱ〕)調査表

過去3年間に、捨てたり、下取りに出したり、売却された器具について、下記の質問に答えて下さい。その答えは、上欄の品名の列によって記入して下さい。

食電セノト	オルガン	エレクトレオ レレレ レレレ	演シ台	ガス電氣コンロ	ガス湯沸器	電氣ガス飲器	電氣掃除機	電氣ガス洗濯機	洗たく機	乳母車	子供用自転車	自転車 自転車 自転車	電氣毛布	ストーブ 電氣 電氣	ホームコクソノ	扇風機	品名
-------	------	----------------------	-----	---------	-------	--------	-------	---------	------	-----	--------	-------------------	------	------------------	---------	-----	----

調 査 票 Ⅲ

記入上の注意

○この調査票は、主として耐久消費財に関する調査です。

○調査対象期間は過去3カ年間で、過去3カ年間に処分されたものについて記入して下さい。

○調査品目は、20品目に分類されています。

○質問項目は、1品目につき

- 1 購入年月日
- 2 使用期間
- 3 不必要となつてから処分するまでの
日数
- 4 不必要となった原因
- 5 処分するまでに期間のあった理由
- 6 処分の方法
- 7 現在あるもの
の7項目です。

② 過去3カ年間に処分されたものにつき、上記1～6の項目に回答して下さい。

○1～3の項目には、年月・期間を記入して
下さい。

○4～7の項目は、該当する番号に○をして
下さい。

3	
---	--

[illegible]

それらの品物が、不必要になった原因は何でしょうか。左欄の中からその原因を1つだけ選んで番号に○をして下さい。

不 必 要 に な っ た 品 類	全体がこわれた。または全体が使用に耐えなくなった。	001	021	041	061	081	101	121	141	161	181	201	221	241	261	281	301	321	341	361
	部品が乏しく修理ができない。	002	022	042	062	082	102	122	142	162	182	202	222	242	262	282	302	322	342	362
	修理費が高つく。	003	023	043	063	083	103	123	143	163	183	203	223	243	263	283	303	323	343	363
	機能のよいものに買換えたい。	004	024	044	064	084	104	124	144	164	184	204	224	244	264	284	304	324	344	364
	デザイン性の高いものに買換えたい。 また、新しい気にもものに買換えたい。	005	025	045	065	085	105	125	145	165	185	205	225	245	265	285	305	325	345	365
	用途及び家族構成が変った。	006	026	046	066	086	106	126	146	166	186	206	226	246	266	286	306	326	346	366
	故障がせまくなった。その場所に他のもので置換えたかった。	007	027	047	067	087	107	127	147	167	187	207	227	247	267	287	307	327	347	367
	他のものより、修理が必要がなかった。 他のものより新品がよかった。	008	028	048	068	088	108	128	148	168	188	208	228	248	268	288	308	328	348	368

それらの品物が不必要になったあと、処分されるまでに期間のたったのはなぜでしょうか。左欄の中からその原因を1つだけ選んで番号に○をして下さい。

[illegible]

それらの品物はどのようにして処分されましたか。処分方法を左欄より1つだけ選んで番号に○をして下さい。

延 命 の 方 法	患者に下取りさせた。	015	035	055	075	095	115	135	155	175	195	215	235	255	275	295	315	335	355	375
	看護、友人など他の人にゆずった。	015	036	056	076	096	116	136	156	176	196	216	236	256	276	296	316	336	356	376
	ほかの用途に費した。	017	037	057	077	097	117	137	157	177	197	217	237	257	277	297	317	337	357	377
	気分が収まらに捨てた。	018	038	058	078	098	118	138	158	178	198	218	238	258	278	298	318	338	358	378
	廃品回収業者が持ち運んだ。	019	039	059	079	099	119	139	159	179	199	219	239	259	279	299	319	339	359	379
自己処分した	020	040	060	080	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	

現在お宅にあるものに○をして下さい。

1-9 お宅には独立の物置か、または倉庫がありますか。下から選んで○をつけて下さい。

1 ある
その弾数をご記入下さい。()弾

2 ない

26

25

24

下 取 桶	本 桶・本 棚	鏡 台	タ ン ス 壺	机 ・ 椅子
-------------	---------------	--------	------------------	--------------

ミ	シ	ン			
毛	糸	織			
じ	ゆ	う	た	ん	
な	た	み	こ	ぎ	
べ	つ	ど			

表5-2(その2) 質問紙調査(調査Ⅰ,Ⅱ)調査表

4 あなたの家庭にある耐久消費材についてお伺いします。

4-1 あなたの家庭で次のものを購入した年度、ならびにその使用価値がなくなった年度を例のように記入して下さい。なお〔 〕内には、次の2-2の質問に対するお答えを番号で御記入下さい。

例 昭和35年 テレビ購入 昭和40年 2台目のテレビ購入
昭和42年 1台目のテレビがつぶれて処分した。

質問品目

例	テレビ	昭和(35)→(42)〔3〕		昭和(40)→(現在)〔 〕	
テ	レ	昭和()→()〔 〕	電気洗濯機	昭和()→()〔 〕	
		昭和()→()〔 〕		昭和()→()〔 〕	
電	気	昭和()→()〔 〕	扇	昭和()→()〔 〕	
気	冷	昭和()→()〔 〕	風	昭和()→()〔 〕	
蔵	庫	昭和()→()〔 〕	機	昭和()→()〔 〕	
本	箱	昭和()→()〔 〕	も	昭和()→()〔 〕	
		昭和()→()〔 〕		昭和()→()〔 〕	
タ	ン	昭和()→()〔 〕	マ	昭和()→()〔 〕	
ス		昭和()→()〔 〕	ット	昭和()→()〔 〕	
		昭和()→()〔 〕	レス	昭和()→()〔 〕	
た	た	昭和()→()〔 〕	応	昭和()→()〔 〕	
み		昭和()→()〔 〕	接	昭和()→()〔 〕	
		昭和()→()〔 〕	セ	昭和()→()〔 〕	
自	転	昭和()→()〔 〕	ッ	昭和()→()〔 〕	
車		昭和()→()〔 〕	ト	昭和()→()〔 〕	
		昭和()→()〔 〕	自	昭和()→()〔 〕	
		昭和()→()〔 〕	動	昭和()→()〔 〕	
		昭和()→()〔 〕	車	昭和()→()〔 〕	

4-2 利用価値のなくなった後の耐久消費材はどうされましたか。前の質問の〔 〕内に番号で答えて下さい。

- (1) 廃品回収業者に回収してもらった。 (2) 市の清掃局に回収してもらった。
(3) 新品を購入した業者に引きとってもらった。 (4) 空地にすてた。
(5) 池や川にすてた。 (6) 処分する方法がないので敷地内においてある。
(7) その他()

4-3 最近一ヶ月の間で台所のゴミなどといっしょには回収してくれないような大型のゴミがでたことがありましたら、その品名と数量を書いて下さい。

4-4 上の4-3の大型のゴミの処分はどうしましたか。1-7に準じて記入して下さい。

5 あなたの住んでいる住居についてお伺いします。

5-1 住宅の構造

- (1) 木造
(2) 木造モルタルぬり
(3) 鉄筋コンクリート造
(4) ブロック造
(5) 鉄骨造
(6) プレハブ
(7) その他()

5-2 住宅の所有

- (1) 自己宅地の持家
(2) 借地の持家
(3) 民営借家
(4) 公営借家
(5) 給与住宅
(6) 間借
(7) その他()

5-3 住宅の形

- (1) 1戸建平屋
(2) 1戸建()階建て
(3) むね続き平屋
(4) むね続き()階建て
(5) アパート()階建て
(6) その他()

5-4 宅地(敷地)の広さは、約()坪

5-5 建坪(建物の建っている面積)は、約()坪

5-6 室の数は、()部屋

5-7 これまで、あなたの住宅を改造、火事などのためにとりこわしたことがありますか。

{(1) ない
(2) ある} ⇒ 昭和()年に、
 (1) 木造
 (2) 木造モルタルぬり
 (3) 鉄筋コンクリート造
 (4) ブロック造
 (5) 鉄骨造
 (6) プレハブ
 (7) その他()
 の()階建て
 の家屋の { (1) 一部
 (2) 全部 } を、とりこわした。
 とりこわしは、 { (1) 風水害
 (2) 火災
 (3) 建物のたてかえ
 (4) たちのき
 (5) その他() } のためであって、各階
 の床面積の合計は、約()坪くらいであり、とりこわし
 た住宅は、 { (1) 昭和
 (2) 大正
 (3) 明治 } ()年に建てられたものであった。

5-8 とりこわした後の「がれき」は、どう処分しましたか。

表5-2(その3) 質問紙調査(調査[IV],[V])調査表

固体廃棄物実態調査票

(1) 主要出荷品目

出 荷 品 目	1 か月当り出荷量	
	万円	トン

(3) 主要原料

主 要 原 料	1 か月当り仕入量	
	万円	トン

(2) 工場からの廃棄物

1. 種 類		2. 数 量 (1 か月当り)		3. 可燃性か 不燃性か又は 腐敗性か	4. 形 状 固 型 状 液 状 泥 状
名称・俗名	主成分	トン	m ³		
例) ゴムくず	合成ゴム		△0	燃 燃 性	固 型 状

5. 廃棄物および排水の種類・量・処理処分のされがた

廃棄物名称		排 出 量 (1ヶ月あたり)	
種 類	具体的な 廃棄物名	重 量 トン または kg	容 積 m ³

廃棄物の発生の由来と 工場内滞留時間		
由 来 コード	発生する まで (月)	発生した のち (月)

由来について
コード表

- イ. 原料から、加工のため
- ロ. 半製品から、加工のため
- ハ. 加工・処理系添加剤(剤)、
燃料などから
- ニ. 包装などから副次的に
- ホ. 工場施設の更新により
- ヘ. 一次廃棄物の中間処理
により、二次的に
- ト. その他

原料などとして工場
へ入ってから廃棄物
として発生するまで
の工場内滞留時間
と、発生した後の工
場内滞留時間のあ
らゆる値を記入
下さい。

6. 野積について

現在、工場敷地内で野積されている原材 料および廃棄物は何か		
原材料名	量	占める面積
	t	m ²
廃棄物名	量	占める面積
	t	m ²
廃棄物が野積されている理由は何でし ょうか。主なものを2つに○をつけて下さい。 1 輸送する費用より、安い土地を購入して 野積しておくほうが経済的だから。 2 自然の分解力を持ったもの。 3 工場敷地が広いから。 4 生産コストを安くするため、輸送費用をか けられないから。 5 遠くに輸送するより簡単だから。 6 将来、何かに利用しようと考えているから 7 近くに捨て場がないから 8 他にもってゆくと反対されるから 9 その他(具体的に)		

5-3 社会的代謝の構造

5-3-1 社会的代謝の分類

家庭において使用されている物質はもちろんのこと、工場内で生産のために用いられている機器類から建築物にいたるまでのすべての人間の創造物は、やがては物理的に劣化してゆく。さらに家庭用耐久消費材に典型的にみられるように、物理的にはまだ使用に耐えうるにもかかわらず、デザインの好みの変化や習慣の変化など、社会的な要因によって廃用されてゆくものも多い。それゆえ、製品の段階のひとつ下の部品のレベルでは、他の部品に影響されて、大部分のものが自らの物理的劣化を直接的な契機としないで廃用されてゆくことが多い。

社会的代謝(social metabolism)とは、対象物質が生産され、使用されている間はその機能と効用を発揮し、やがては物理的、社会的に廃用されてゆく過程を意味する。この過程は経済学をはじめ、多くの社会科学分野の研究対象であるが、環境問題という視点からみると、すでに述べてきた潜在廃棄物環境という設定を介して、いくつかの興味ある特徴を示している。代謝速度の急激な増大が多量の廃棄物を生みだし、環境破壊の背景となっているとの指摘は少なくないが、具体的な数値をもとにして、要因をとりあげてメカニズムを明らかにする試みは、環境との関連ではなされていないといって過言ではない。そこで、研究の方向としては、物が代謝される過程で環境に占める位置、与える影響という点から、代謝の構造を定量的に把握することを採るべきである。2-2でも述べたように、代謝構造は代謝主体と被代謝物とから構成されているので、一方では特徴的な物質に注目して代謝の流れを追究し、他方ではそれらをつかさどる器官に相当する部分の特性を解明してゆく必要がある。

前者の場合には、すべての物質を手あたり次第にとりあげてゆくことは非効率的であるばかりか、全体像の把握と妨害する可能性すらあり、代謝のいくつかの型の特徴と示す指標物質を選ぶことが妥当である。もちろん、検討の過程で新しい物が加わるとともに、他の物によって説明可能となった物は取り除かれることはいうまでもない。その候補として耐久消費材、建築物、汚泥、鉄、木材などをあげることができが、一方の物が他の物を資材として組み込んでいたり、レベルの異ったものが混在しているので、ア prioriに提示するだけでは指標としての必然性の説明力は弱い。そこで、指標物質を限定する前の段階として社会的代謝をいくつかの面から分類しておくことが有用であろう。

表5-3は社会的代謝を分類したものである。代謝の形式からみると、エネルギー的代謝(catabolism)と構築的代謝(anabolism)の二つにわけられる。代謝主体にとって部分的ではあるが定常的に必要なエネルギーとして用いられ、かつ排出されていると考えられる場合をエネルギー的代謝と呼び、逆に代謝主体を基本的に構成することに用いられていて、非連続的に排出されていると考えられる場合を構築的代謝と呼ぶ。これは相対的な定義であるので、あるレベルでは構築的代謝と考

えられるものが、より上位のレベルではエネルギー代謝とみなした方が適切である場合もある。たとえば、機械の本体が部品に対してもつ位置と、それを保管している建築物に対する位置とは異なるので、同じ機械を対象とした場合でもその代謝は代謝主体の考え方によって異った形式をとるのである。

代謝の基本的機能は、代謝過程において別の物質を生産することに主として用いられているか、あるいは消費材として用いられているかによってわけられる。生産的代謝 (productive metabolism) の場合には材の変化にともなって他の物質が加工されるので、この際に発生する廃棄物ももたらす効果を考慮に入れなければならない。消費的代謝 (consumptive metabolism) は消費過程でおこなわれてエネルギー準位を下げるが、生産的代謝の場合にも、投入された物質を広く取りあ

げてトータルとしてみると、かならずしもエネルギー準位を上げることにはならない点についてはすでに 2-2-1 で述べた。

さらに、代謝の形態は対象物質自身の階層によって異なることが推定され、表に示した種類にわけて考察することが適切である。公的な社会調査である各種の統計をみると、分子や化合物などの低位の物の場合には、物質自身のサイクルの始点に近いところでのフローの諸量が正確にとらえられているが、それらが消費過程の末端に来たときの値はほとんど把握されていない上に、多くの上位の物に含まれているために独自の調査も困難である面が強い。逆に、製品レベルでは多様化されているために、生産時点での統計を利用するには低位の物に比較して共通化あるいは基準化という追加的な操作を必要とする。しかし、消費過程では上位のものほど生活との結びつきが強いために、独自の質問紙調査をおこなう場合には相対的に有利である。なお、混合物は化合物の単純な混合によって成り立っているが、通常製品は機能の異なったものが組みあわされており、さらにシステム装置は個々の製品が有機的に連結され、全体として自動化や物質・エネルギー・情報の変換をとこなう高度の機能を有する点で相互に区別される。

代謝の時間スケールによる分類は相対的な分類である面がさらに強いが、社会的代謝を考える上には是非必要である。ここでは、3-4-1 で潜在廃棄物の流動に関する考察の際にもちいた有用期間の分類 (表 3-6) を基本としている。

表 5-3 社会的代謝の分類

	分 類
代謝の形式	エネルギー的代謝
	構築的代謝
代謝の基本機能	生産的代謝
	消費的代謝
対象物質の階層	原子または分子
	化 合 物
	混 合 物
	通 常 製 品
	システム装置
代謝の時間スケール	1~2 日
	1~2 週
	1~2 月
	1~2 年
	5~6 年
	10~20 年

5-3-2 社会的代謝の単一フローモデル

2-2で示した物質代謝の基本構造は、貯留と移動の連続的な組みあわせから成りたっていると解することもできる。一般的に社会的代謝は独立的な単位を有しており、物質のフローという視点からみると、それらの単位ごとに共通の取扱いをなしうる場合が多い。この単位は全体のシステムに対してサブシステムと称され、サブシステムの入力と出力ならびに内部の主要な構成要素によって表現される。もちろん、社会的代謝のサブシステムには独自の特性があって一律的な表示がほとんど有効ではないこともあり、とくに社会的代謝が自然環境と接点をもつ部分では、自然環境のあらゆる面にわたる基礎的な現象把握が平行しておこなわれるべきである。

代謝過程の一部としてサブシステムを考えると、内部の主要な構成要素としては代謝率の概念が重要である。入力量 $I(t)$ 、出力量 $O(t)$ ならびに貯留量 $R(t)$ に対して代謝率（あるいは代謝係数とも称する。） $K(t)$ を再記すれば次のとおりである。

$$K(t) = O(t) / R(t) \quad (5-1)$$

通常、代謝率は流出量に対して設定されることが多いので省略されているが、正確には $K(t)$ は流出側平均代謝係数と呼ぶべきである。対象とするサブシステムに流入してから経過時間を τ とし、相対時刻 τ における瞬間的な流出の割合（瞬間流出率）を $f(\tau)$ とすれば、次のようにも表示される。

$$O(t) = \int_0^{\omega_{\max}} I(t-\tau) \cdot f(\tau) d\tau \quad (5-2)$$

$f(\tau)$ は第4章の式(4-13)で用いた瞬間廃棄率関数と同じ内容をもつ。 ω_{\max} は考えうる抽象的な最高年齢もしくは最高滞留時間ともいうべきものを意味し、累積流出率 $P(\tau, t)$ を用いると次のようになる。

$$O(t) = \int_0^{\omega_{\max}} I(t-\tau) \cdot \left[\frac{dP(\tau, t)}{d\tau} \right] d\tau \quad (5-3)$$

代謝係数についても材の年齢別あるいは滞留時間別に考え、さらに流出側と同様に流入側についても定式化すれば、次のようになる。

$$O(t) = \int_0^{\omega_{\max}} k(\tau, t) \cdot r(\tau, t) d\tau \quad (5-4)$$

$$H(t) = I(t) / R(t) \quad (5-5)$$

$$I(t) = \int_0^{\omega_{\max}} h(\tau, t) \cdot r(\tau, t) d\tau \quad (5-6)$$

ここに、 $r(\tau, t)$ は時刻 $t=t$ における年齢 $\tau=\tau$ の対象物質の現存量を、 $k(\tau, t)$ 、 $h(\tau, t)$

はそれぞれ流出側年齢別代謝係数、流入側年齢別代謝係数を、さらに $H(t)$ は流入側平均代謝係数を意味する。

まず、最も簡単なタイプとして次のような定常型過程を考える。 $k(\tau, t)$, $h(\tau, t)$ が時刻 t にかかわらず一定で、かつ $R(t)$ が常に一定である過程である。この場合には一定の年齢構成を保持しなければならない、よって入力と出力は常に等しい値をとる。いま、 $P(\tau) = 50\%$ となる τ をとくに $T(50\%)$ であらわすとすれば、その値は定常ならびにある種の条件下で $K(t)$ の値の逆数に近近することになる。

このこと詳しく検討すると次のようになる。滞留時間別の現存量は

$$r(\tau, t) = (1 - P(\tau, t)) \cdot I(t - \tau) \quad (5-7)$$

のようにあらわされるので、 K の値は定常の仮定のもとで次のようになる。

$$R(t) = \int_0^{\omega_{max}} r(\tau, t) d\tau = I(t) \cdot \int_0^{\omega_{max}} (1 - P(\tau)) d\tau \quad (5-8)$$

$$K(t) = \frac{O(t)}{R(t)} = \frac{I(t)}{I(t) \cdot \int_0^{\omega_{max}} (1 - P(\tau)) d\tau} = \frac{1}{\int_0^{\omega_{max}} (1 - P(\tau)) d\tau} \quad (5-9)$$

ところが、図 5-1 に示すように、 $P(\tau)$ が τ に関して線型の場合には式 (5-9) の分母の積分値が $T(50\%)$ に等しくなり、また非線型であっても、 $P(\tau)$ が図上で $(\omega_{max}/2, 1/2)$ に関して点対称であれば、積分値は $\omega_{max}/2$ 、すなわち $T(50\%)$ となる。いいかえれば、 $f(\tau)$ が $\tau = T(50\%)$ を軸に対称であり、かつ、代謝過程が定常であるとすれば、 $K \cdot T(50\%) = 1$ となる。

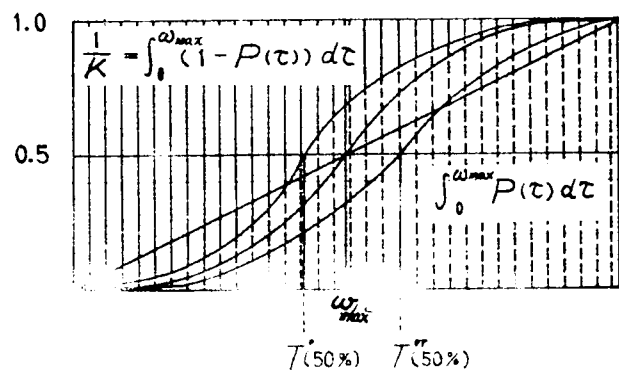


図 5-1 定常の場合の K と $T(50\%)$ との関係

代謝現象のなかでは上述の仮定を満足するものはかなり多くはないので非対称の場合の検討・補正の必要性は認めるとしても、次のような指標を設定することには大きな意義がある。

$$U_s = K \cdot T(50\%) \quad (5-10)$$

U_s は非定常性の強さを示す指標 (unsteadiness factor) であり、一般に非定常である代謝過程について、調査によって得た K と $T(50\%)$ の値から算定される。 $U_s = 1$ の場合には系が定常状態に近いことを意味する。物質サイクルにおいて成長期にある貯は蓄積量が多くなるために、その $T(50\%)$ の値を有する定常状態での K の値よりも小さい K の値を示し、 U_s は 1 を下まわる。他方、

物質サイクルの老年期にある財では、投入量の減少が K の値を増加させる方向に働き、 T (50%) が以前と同じ値であっても U_s は増加し、1を上回る事となる。

$R(t)$ の変動を許容した場合でも、 $k(t, t)$ および $h(t, t)$ が時刻 t にかかわらず一定であるとするかぎりでは、規則的な傾向が生まれる。すなわち、現存量 $R(t)$ は幾何級数的に増加または減少し、その増加(減少)率は与えられた一定の年齢別代謝係数(流入側 $h(t, t)$, 流出側 $k(t, t)$)によって規定され、最初の年齢構成とは無関係である。⁸²⁾伊藤ていじはこれを家屋耐用年限理論にとり入れ、次の3つの家屋関数を定義した。⁸³⁾記号をこれまでの記述にあわせて示すと次のようになる*。

$$\text{第Ⅰ関数: } C = H(t) \cdot e^{-\gamma t} \cdot l(t) \quad (5-11)$$

$$\text{第Ⅱ関数: } 1/H(t) = \int_0^{\omega_{max}} e^{-\gamma \tau} \cdot l(\tau) d\tau \quad (5-12)$$

$$\text{第Ⅲ関数: } 1 = \int_0^{\omega_{max}} e^{-\gamma \tau} \cdot l(\tau) \cdot h(\tau, t) d\tau \quad (5-13)$$

ただし、次のような意味である。

γ : 減時増加率 ($\gamma = (dR/dt)/R$)

$l(t)$: 年齢別残存率

$C(t)$: 年齢別構成係数 ($C(t) = r(t)/R$)

そして、簡単な計算から、流入側ならびに流出側の平均代謝係数は、いずれも γ に無関係であることがわかり、 $l(t)$ ならびに $h(t)$ が与えられるならば、 $\gamma, H, C(t)$ さらに R が定まるという。

式(5-2)は第一種のフレッドホルム型積分方程式(Fredholm integral equation of the first kind)である。いま、 $t-\tau=s$ とおくと、次のように展開される。

$$\begin{aligned} O(t) &= \int_0^t I(s) \cdot f(t-s) ds = \int_{t-\omega_{max}}^t I(s) \cdot f(t-s) ds \\ &= \int_0^t I(s) \cdot f(t-s) ds - \int_0^{t-\omega_{max}} I(s) \cdot f(t-s) ds \end{aligned} \quad (5-14)$$

いずれも $(t-s)$ は変数とする核をもっており、関数 f は変数が正のときのみ値をもつ。 τ が負の領域で f の値を形式的に設定することによって、積分方程式の核は対称核にも歪対称核にもすることが出来る。対称核であるならば、数多くの特別解法が存在する。

瞬間流出率 $f(t)$ や累積流出率 $P(t)$ の関数形は対象とする潜在廃棄物の種類によって異なるが、いくつかの共通するであろう型式を強いてあげると、ロジスティク曲線の微分型やアーラン分布が代表的な例である。後者は式(4-15)であらわされ、前者は次の微分方程式の解よりもとめられ、式(5-16)のように表現される。

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{1}{p} \cdot P \cdot (1-P) \quad (5-15)$$

* 人口理論において Lotka が同一の関数を導いていた。

$$f(\tau) = \frac{a \cdot b \cdot p \cdot e^{-b\tau}}{(1 - a \cdot e^{-b\tau})^2} \quad (5-16)$$

たとえば、 $f(\tau)$ の関数形を式(5-16)で表現するとして、絶対時間 t の経過にともない滞留時間が短くなるように式(5-16)に t の一次関数を乗じるとすると、式(5-14)の積分方程式の核は合成核となり、 t のみの関数と $(t-s)$ のみの関数の積となる。実際、代謝現象においては、単一の対象核とみるより合成核とみなす方が適切な場合が多いが、その場合でも対象核に準じた取扱いが可能である。

式(5-14)を変形すると、

$$I(t) = \int_{t-w_{max}}^t I(s) \cdot f(t-s) ds = I(t) - O(t) = \frac{dR}{dt} = R'(t) \quad (5-17)$$

となり、第2種のヴォルテラ型積分方程式 (Volterra integral equation of the second kind) となる。一般に、ヴォルテラ型積分方程式はフレッドホルム型積分方程式の特殊な場合であって、第2種フレッドホルム型積分方程式は逐次近似法によって解がもとめられる。 $R'(t)$ を $I(t)$ の第一近似値として代入すればよいが、その収束条件については文献²⁾に詳しい。供給量 $I(t)$ と現存量の時間的变化 $R'(t)$ とを観察し、これから瞬間流出率 $f(t)$ をもとめることは、ヴォルテラ型（あるいはフレッドホルム型）の第1種積分方程式を解くことに帰着する。この問題は、工業資材の供給量と廃用量（消費量）から部品、機器の消耗率を推定する問題として研究されている⁸⁾。逆に、現存量の時間的变化を知って、 $f(t)$ を設定すれば、必要な供給量 $I(t)$ の時間的变化が第2種積分方程式の解として得られる。具体的な意味としては、所与の瞬間流出率（廃用を問題にするときには瞬間廃用率である）に対して、蓄積量増加量 $R'(t)$ の経時変化があるパターンに沿うようなインパットを決定することになる。これは調査を基礎として瞬間流出率を推定することであり、また、蓄積現存量の動向を把握して、一定の判断基準にもとづく望ましい現存量の変化 ($R'(t)$) をもたらすような供用量を決定することによって、社会的代謝の管理にも寄与するところがあるであろう。

5-3-3 代謝係数の重合体モデル

図2-5において示した物質あるいは指標の代謝の流れに沿った変化は、おのこの段階における個別モデルとは別に、物質循環の視点から各段階を結合して検討される必要がある。すでに物質収支式に加えて、ある種の潜在的価値の連続式がおのこの段階で設定されることについては2-2-3で述べたが、ここでは複数の段階に対して、潜在的価値の流れをも含めて統合的な取扱いを試みることにする。

潜在的価値(potential value)の具体的な意味について、まず考える。もちろん、価値については哲学的な範疇での議論や経済学上の論争がおこなわれてきており^{*}、かならずしも一元的な解釈をなしえるとはいえない。ここではそれらに深く立ち入ることは避け、循環に沿った価値の変化という点に注目して、対象とする循環断面よりも後部での対象物質の挙動をも評価するようなくせゆえ、計測している断面からみる「潜在的」(含さむ)価値を想定する。

これまでの費用便益分析を例にとると、費用は目的とする計画内容と実現するために投入する必要がある資材・労働力などの価格で評価することが大部分であり、また、便益も生みだすことが予想される効果を価格で表示することが少なくない。価格は市場経済的な売買の対象としてのものであり、技術的見地からみて評価とは予言する場合もある。環境に与える廃棄物の影響に対して、外部費用・社会的費用として内生化することは理論的には不可能ではないが、現状では価格で表現された費用と価値とは入きな隔た^りがある。そこで、一つの方角として定量化した段階では処理・処分や自然界での安定化に必要なエネルギー、労働力、主要な物質(指標物質に対応する可能性が入きい)などの量によって評価することを平行して試みるとともに、廃棄物の量に限ることとして、価格で表現する物質が安定化するまでに要する全費用をその物質の量によって、潜在的価値を表現することが必要であろう。後者の場合は端的には、発生した廃棄物の収集・運搬、焼却、残渣埋立、さらに土地環境の改善などに用いる費用を算定しておき、潜在廃棄物の段階で効用がある時点においてもそれらの費用を減じておくことによって、評価が定まるのである。

このように安定化するまでの総費用を負にとりて表わした潜在的価値を縦軸と、横軸に循環の位置をとって表現すると、運搬には費用が必要であるから、縦軸の値は実空間の位置によっても変化する。そこで、代謝の流れに沿った物質収支式、潜在的価値の連続式の時間間隔を、たとえば1日のように適切に設定し、輸送過程そのものをひとつの空間占有と考え、輸送過程での価値変化をこの空間における変化と解釈することが妥当である。図5-2は、潜在廃棄物が顕在化して処理・処分される過程を、このような視点から描いたものである。この場合においても、現実の輸送過程の時間オーダーと空間オーダーが蓄積部分のそれと大きく異なるために、空間として統一的に論じることには困難がある。開水路の流れにたとえると、長くて流速の大きい急流部に接続して、水が蓄積が

* たとえば、限界効用説と労働価値説、主観的価値説と客観的価値説の間の対立。このことおりの議論は文献(85)に詳しい。

広くて深い貯水池のような緩流部があるという状態であり、連続系として表示して解析することは難しい。

そこで、ひとつの手法としては、移動速度の大きい部分をいくつかの空間にくぎり、それぞれで価値の変化をあらわなわてることが考えられる。すると空間的には均等となるが、時間のレベルが不均等となる。家庭廃棄物の収集・輸送過程での時間レベルは hour ないし day であるが、蓄積部としての廃棄物処理場の場合には day , さらに廃棄物埋立地の場合には month ないし year である。連続系、あるいは非連続系のいずれとして取扱うにせよ、単位時間、単位距離の採用が重要な問題と考えられるので、表5-4に一応の整理をおこなった。逆に、なるべく同一レベルの時間間隔で論じるためには、輸送過程のように速度が大きく、占有時間の短い部分はひとつに統合する必要がある。連続的表示はもとより解析の手段としての仮想モデルであるが、時間的、空間的レベルの差が大きくなる背景のもとでは不適当である。

そこで、いくつかの段階ごとの離散的取扱いを結合することとして、物質の収支式と潜在的価値の連続式を再び示しておく。ただし、記号は2-2-3で記した同じ内容を意味する。

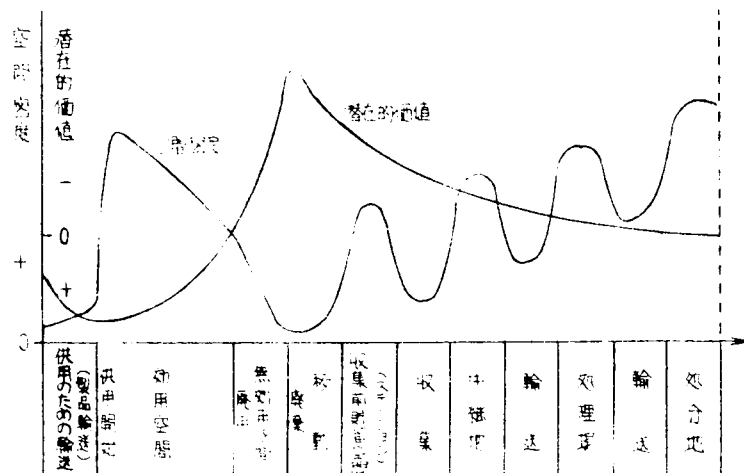


図 5-2 廃棄物の処理処分に至る過程

は hour ないし day であるが、蓄積部としての廃棄物処理場の場合には day , さらに廃棄物埋立地の場合には month ないし year である。連続系、あるいは非連続系のいずれとして取扱うにせよ、単位時間、単位距離の採用が重要な問題と考えられるので、表5-4に一応の整理をおこな

った。逆に、なるべく同一レベルの時間間隔で論じるためには、輸送過程のように速度が大きく、占有時間の短い部分はひとつに統合する必要がある。連続的表示はもとより解析の手段としての仮想モデルであるが、時間的、空間的レベルの差が大きくなる背景のもとでは不適当である。

表 5-4 代謝過程の各段階のスケール

対象物質	過程	平均的滞留時間	平均的空間距離
家庭廃物(一般)	ステーション、貯留	1~4 時間	10~200 m
家庭廃物(一般)	収集運搬	1~3 時間	5~20 km
家庭廃物(一般)	廃却	2 日	200~1000 m
家庭廃物(一般)	埋立地	5~20 年	0.5~3 km
家庭廃物(一般)	無効占有、貯留	1~4 日	~10 m
家庭廃物(一般)	無効占有、貯留	1~2 週	~10 m
食料品	家庭消費	1~5 日	~10 m
日用品	家庭消費	1~4 週	~10 m
耐久消費材	家庭消費	3~10 年	~10 m
家庭用品	生産小売間流通	0.5~10 月	10~100 km
家庭用品	小売家庭間流通	0.5~2 月	0.5~2 km
産業機械	事務所	3~20 年	100~1000 m
産業機械	流通	1~3 年	50~500 km
生産資材	資材保管	1~5 月	100~500 m

$$T_i - T_{i+1} = \frac{dR_i}{dt} \quad (5-18)$$

$$a_i \cdot T_i - a_{i+1} \cdot T_{i+1} = b_i \cdot \frac{dR_i}{dt} + d_i \cdot R_i \quad (5-19)$$

式(5-19)の右辺は空間*i*における物の価値総量の変化量を意味し、それを物量の増加分と単位量あたりの価値の変化によるものに分割しており、次の関係式が成り立つ。

$$di = \frac{db_i}{dt} \quad (5-20)$$

なお、時間の変数*t*は、はじめに述べたことから論理的には、代謝軸をあらわす特性曲線 $A(x, t)$ 上で場所変数 x と交換可能である。

空間*i*における質変化を無視して、 $di = 0$ とおくと、

$$\mu_i = \frac{a_{i+1}}{a_i} \quad (5-21)$$

$$\lambda_i = \frac{b_i}{a_i} \quad (5-22)$$

のような補正変数が導かれ、式(5-19)は次のように表現される。

$$\lambda_i \cdot \frac{dR_i}{dt} + \mu_i \cdot T_{i+1} = T_i \quad (5-23)$$

式(5-23)を各段階で表現して連立すれば、最終段階の流出量 T_n と第一段階の流入量 T_0 との関係は次のようにもとのうれる。^(*)

$$T_n = \frac{T_0}{\prod_{i=1}^n \lambda_i} - \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{\mu_i}{\prod_{k=i+1}^n \lambda_k} \cdot \frac{dR_i}{dt} \right) \quad (5-24)$$

空間*i*における質変化を補正変数 η_i を用いてあらわすと、次のようになる。

$$\eta_i = \frac{di}{b_i} \cdot \frac{R_i}{\left(\frac{a_i R_i}{dt}\right)} = \frac{di}{b_i} \cdot \frac{1}{\frac{d(\log R_i)}{dt}} \quad (5-25)$$

$$\lambda_i = \frac{b_i}{a_i} (1 + \eta_i) \quad (5-26)$$

ゆえに、式(5-23)は λ_i の意味を変えて成立する。 λ_i, μ_i, η_i は空間*i*における代謝を表現する重要な補助変数であり、代謝パラメーター (metabolic system parameter) とよぶ。全体系の代謝指標である総括代謝係数は、

$$K = \frac{T_n}{R} = \left[\frac{T_0}{\prod_{i=0}^n \lambda_i} - \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{\mu_i}{\prod_{k=i+1}^n \lambda_k} \cdot \frac{dR_i}{dt} \right) \right] / \sum_{i=0}^n R_i \quad (5-27)$$

であらわされる。

式(5-24)ならびに式(5-27)は、代謝経路の末端の断面量あるいは全体系の指標と内部のパラメーターとの関係を示している。両端の境界値が与えられて内部関係を調整する場合にも、逆に代謝の前段部の量 T_0 と内部の代謝パラメーターから最終段階の量 T_n を推定する場合にも、有力な手がかりを与える。いま、任意の段階 m における代謝パラメーターで式(5-27)を偏微分すれば次のよう

になる。

$$\frac{\partial K}{\partial \lambda_m} = \frac{1}{\lambda_m \cdot R} \cdot \left[\frac{-T_0}{\prod_{i=0}^n \lambda_i} + \sum_{i=0}^n \left(\frac{\mu_k}{\prod_{j=0}^n \lambda_{k+j}} \cdot \frac{dR_{i+1}}{dt} \right) \right] \quad (5-28)$$

$$\frac{\partial K}{\partial \mu_m} = \frac{1}{\lambda_m} \cdot \left[-\frac{\frac{dR_m}{dt}}{\prod_{i=m+1}^n \lambda_i} \right] \quad (5-29)$$

$\partial K / \partial \lambda_m = 0$ ，あるいは $\partial K / \partial \mu_m = 0$ より，それぞれ次式が導かれる。

$$\sum_{k=0}^m \left(\mu_k \cdot \frac{dR_i}{dt} \cdot \prod_{i=0}^{k-1} \lambda_i \right) - T_0 = 0 \quad (5-30)$$

$$\frac{dR_m}{dt} = 0 \quad (5-31)$$

式(5-28)，式(5-29)は代謝パラメーターの微小変動が全体の系の総代謝係数に与える効果を表現しており，式(5-30)，式(5-31)はその極値条件である。

5-4 家庭における製品レベルでの調査

5-4-1 家庭生活にともなう物質代謝

家庭は人間生活の基本的な場であり、生活をささえるべく多くの物資が消費され、また廃物が運び去られる。生活史など生活に関する研究において、家庭生活に用いられている物資に強い関心を持ってきたことにもあらわされているように、生活の水準や構造を把握する上で使用されている物資の質と量をあきらかにすることがきわめて重要である。物質代謝は生活水準や生活構造によって規定されるが、逆に物質代謝の変化が生活水準や生活構造を急激に変化させていると考えられることができる場合もある。もっとも、生活を総体としてとらえる点からは、代謝面からのアプローチだけでは不十分なことは言うまでもない。

工学的には、生活と物質代謝との関連を把握し、代謝面からみた場合にどのような施設を含むシステムが形成されることが望ましいかという点を軸とした研究のアプローチが展開されるべきであろう。目的としては家庭ゴミをはじめとする廃物を衛生的に安全に処理することとして位置づけられるが、環境計画の立場からは、単に生活の廃からの排除というパターンから、貯留、自己処分、再利用などを含む低減あるいは地域の環境サイクルの設定という方向へ転換されなければならない。消費生成物に対する対応の仕方を変えることは、消費過程そのものの変化をももたらすことによって、大きな成果を生むであろう。

まず、本項で家庭生活における物質代謝を歴史的に概観したのちに、現在の代謝の状態について述べることにする。人間の歴史を他の動物と決定的に異なっているものとしている最大の要因は道具の系統的な利用であるが、道具とそれを生産する技術は古い時代ほど生活と生活資料の間にあった。貨幣経済が都市部で成立するようになった中世においても、農村では自給自足の生活が続けられてきた。マンユファクチュアを経て、大工業生産が展開されると、農村部では生活資料の大部分を他に依存することとなり、農村部でも自給する率が低下し始める。都市においては農村部の生活も物質代謝の面では都市での生活とかわらないものとなりつつあり、米穀の自給供給やゴミやシ尿の部分的な処理還元がおこなわれている点などに差異がみとめられる程度である。家庭生活と身近な近隣自然ならびに生産との関係の変化を模式的に示したのが図 5-3 であり、現在においては三次産業という形をとって家庭外消費が活発におこなわれている。

代謝される量と代謝速度の変化については十分に把握されていないが、道具や衣食住の資料の質的な変化については歴史学の注目すべき点として多くの研究がなされている。²⁰⁾たとえば、食物、衣料、住居の様式の大要は表 5-5 のように表現されよう。しかし、明治以前の歴史的文書には断片的にしか特殊な条件のもとでの消費量ならびに所有量が記録されているにすぎない。当然ではあるが、時代を逆のぼるにつれて、それらの量的な考証は困難である。家庭単位での所有量や使用量は量的因子として生活の重要な面をあらわしているものと考えられ、生活史の分野での研究の進展に

表 5-5 庶民の衣食住の変遷

[illegible]

注) 家庭生活にもよる代価の変化に注目しているから、
歴史上の意味の軽重は問うていない。
一番頼、持田編著の生きた歴史を学ぶ(古
研究1)の記事を中心にまとめ、その解説を含め、
次の文献と参考にした。生きたワード読解者、朝倉書店、1970)、日本食生活史
(斎藤孝、こゝろ文館)、服装の歴史(川口松太郎、村上天来)

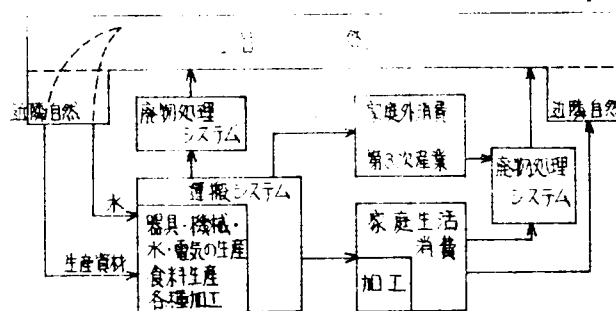
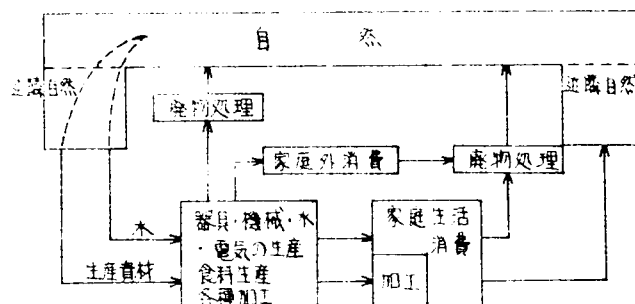
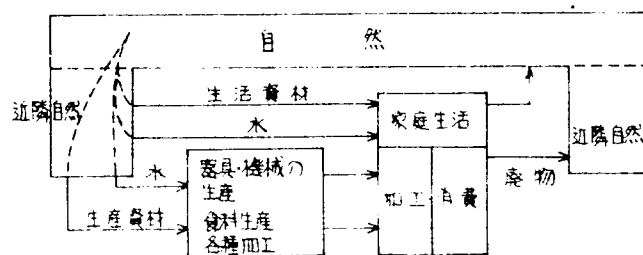
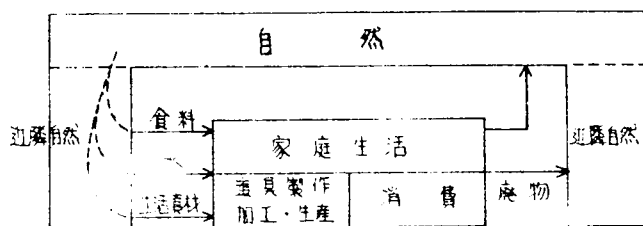


図 5-3 家庭生活の位置の変遷

ともない逐次あきらかにされるであろう。明治以降になると、高野らによる「東京市京橋区月島に於ける実地調査報告⁶⁷⁾」を端緒として社会調査がいくつか実施され、さらに国や地方自治体による各種の統計調査がおこなわれて、家庭生活にともなう物質代謝の諸値も以前よりは多く得られている。

明治時代の末期から大正の初期の国民生活にみられる物質代謝を文献⁹⁰⁾をもとに考察してみる。主食は麦と米とする雑穀に米を加えており、農民、都市労働者を問わず、副食物は少ない。みそ汁と漬物と野菜の煮つけが中心で、動物性食品は絶対量が少ない上にほとんど魚である。小作小農の1人1日あたりの食糧は米280g、裸麦500g、みそ79g、しょうゆ18g、魚類45g、蔬菜555g、漬物173gに酒と砂糖が微量であると報告されている。資本主義の進展にともなう都市への人口集中により、住宅は量的質的不足（大正9年で住宅不足12万余戸）におちいり、東京での人口1人あたりの延床面積7坪というかなり高い値も少数の家主の特権による値で、持家と借家とでは大きな落差があった。衣服の面では洋服が作業服や背広の分野から進出してくるが、女性の着物や農村では従来の和服が支配的であった。

大正15年（1926）9月より昭和2年8月にかけて日本で最初の家計調査が実施され⁹¹⁾、一世帯一か月あたりの収入ならびに支出の内訳があきらかにされている。この調査は借家暮らしの者に住む一定の条件をもつ勤労者を対象とした典型調査であり、かならずしも全体像を示すものではないが、きわめて有効な資料を提供している。前述の文献で示されている小売物価格を参考として、消費量の一端について述べてみる。工場労働者の実支出の40%を飲食費が占め、住居費は15.8%、光熱費は4.6%、被服費は13%を占めている。飲食費の内訳をみると、米麦費は14.85円で内地米80kgに相当し、肉類は10.93円と少なく、魚介類は3.12円でいわし約200尾に相当し、鶏卵類0.5円で卵約750gに相当している。また、豆および蔬菜類は2.60円でだいこん約50個に相当し、乾物類、調味料、豆腐・佃煮・漬物類は0.39円、3.08円、1.99円の消費を示し、酒類は2.56円で清酒3.2弱に相当し、菓子果物は2.24円でリンゴ約40個に相当し、煙草は1.27円での消費量を示している。飲食物費79.33円のうちの主食費が約41%をしめており、その割合は戦後の消費費とほぼ同じである。一方、衣服費は8.53円で3～4か月分で国産の背広一着の価格に相当し、娯楽用具費が0.12円と週刊誌1冊分しかなく、修養娯楽費は3.26円で映画鑑賞12回分に相当するという状況からもうかなるかに低い消費水準は低い*。

その後の戦時下の国民生活はさらに窮乏し、耐乏生活が強いられるようになる。たとえば前述の文献には、昭和17年に実施された時点の衣料切符では1人で1年間に国民服1着、下着5枚、長袖シャツ2枚、靴下4足、手拭2枚、手袋2組、足袋1足に相当する部分が購入可能であったが、次第にそれすら制限されたことが述べられている。この間、昭和6年より16年まで内閣統計局によって家計調査は継続されたが、戦後の消費水準と比較する上では、衣服、身のまわり日用品、家具などへの出費についての共通の単位がないことが大きな欠陥となっている。末端に位置する家庭での消費は家庭での物質代謝の実態を把握するために必要であるが、家庭外での消費（第三次産業の一部がなくなるとともに他の産業でも使用される。）が多くはない時代においては、あるいは家庭外での消費が少い物質については、生産段階での供給量で代用、もしくはそれから推定が可能であろう。

* 調査結果である、労働者一世帯一か月あたり平均実支出 91円38銭という値は生活実感とは離れており、相当の上層に属する労働者世帯についての値である。下層の労働者世帯における消費量はこれらの値の半分程度のレベルであったものと推定される。

さて、昭和22年に家計調査が再び実施され、以後、毎年継続されている。そこで、統計表^{12), 33), 44)}の一世代あたりの一年間の品目別購入数量、支出金額に注目して消費量を算定することとするが、重量で計上されていない品目については次のような推定法を用いている。たとえば、肉類では牛肉、豚肉、鶏肉、鯨肉、ハム、ソーセージの購入重量の購入金額に対する比の値（単位価格あたりの重量）を、その他の肉およびその他の加工肉の購入金額に乗じて加算している。保健衛生費に属する薬品や日用品、文房具、たばこ類ならびに教養娯楽費に属する新聞、雑誌、書籍ならびに娯楽品については、数量表示がなされている物品が購入金額のなかでしめる割合が小さいので、物価の変動による誤差を和らげることを考慮して、経年変化の検討の外においた。

結果を示したのが図5-14

である。食料の消費量をみると、穀物類の減少、肉類や乳卵類の増加の傾向がみられる。世帯人口は昭和20年代の初期の4.8人の値が30年代に入って減少しはじめ、50年代の後半からはその減少率が低下している。世帯あたりの消費量にはこの減少が影響を与えており、野菜類の横ばい傾向もその原因の一つである。全体として食料品は昭和30年代の後半より同じ程度の値を示し、昭和36, 37年当時の分割品目については減少しているものが多いところから、種類が豊富になっていることがわかる。

衣服・身のまわり日用品をはじめとして、食料品以外の大部分のものは購入金額あるいは個数で集計され

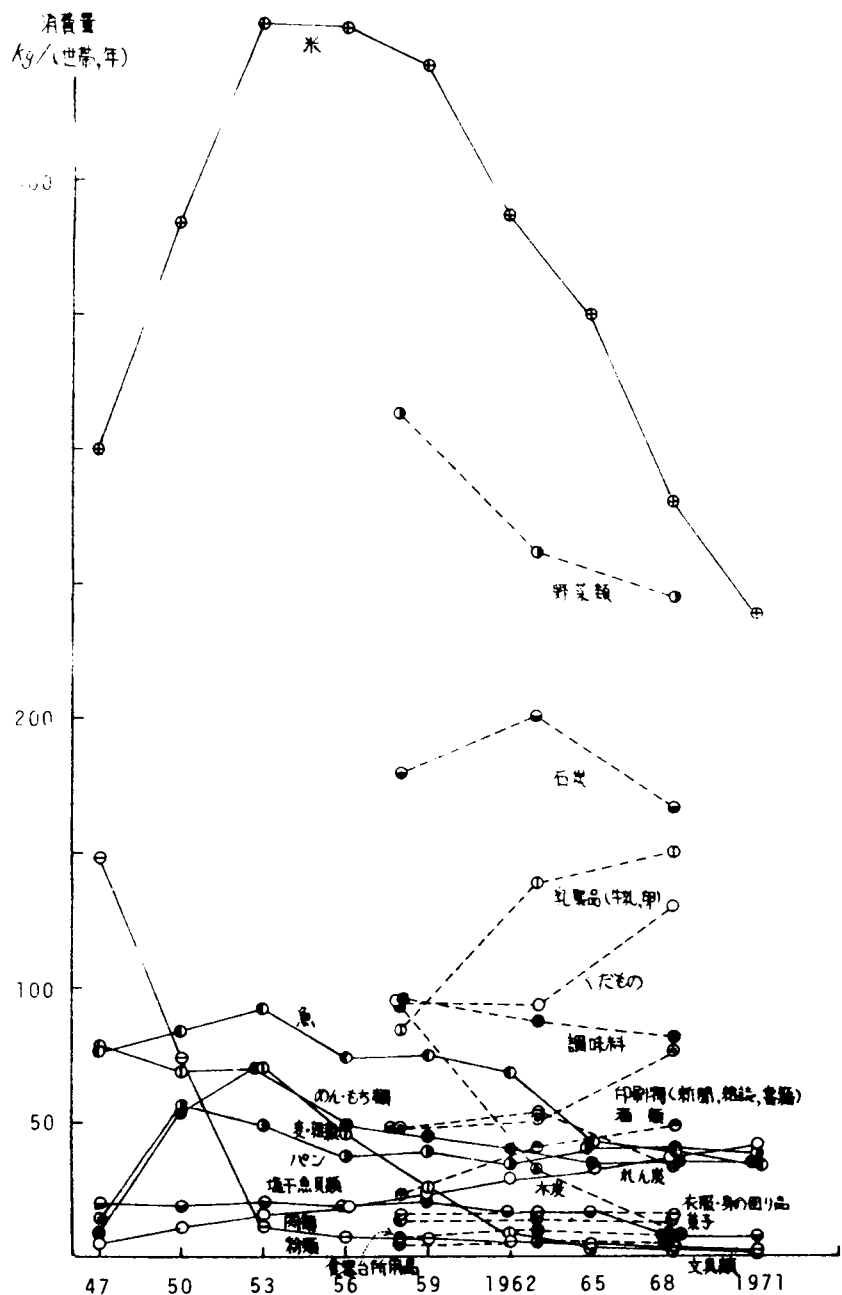
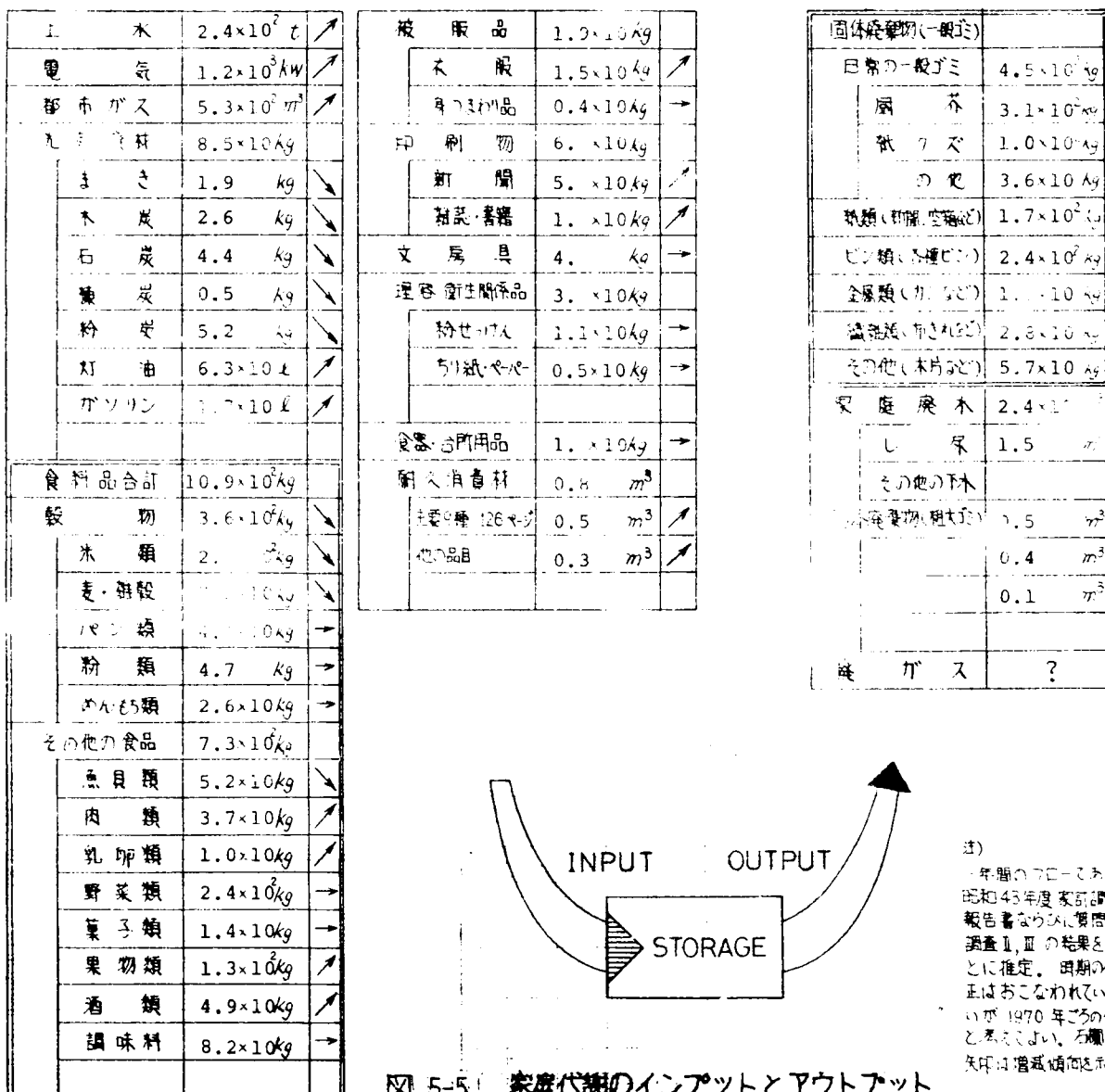


図5-4 家庭消費量の変化

ているので、とりあげられている品目の小売価格（各年度）を考慮し、一単位あたりの重量を簡易に実測して消費量を重量単位に転換した。家庭に流入する消費材の量は、次項で検討する耐久消費材を除くと、さほど増加しているとはいえない。B. Commone⁴⁵⁾は生産統計を用いて各種の資材、製品の消費量の変化を調べているが、生活の基礎物資の伸びはやはり低いようである。伸び率の高い物の多くは生産の途から環境内で放置されるまでの各段階で自然環境に悪影響を与えるような技術体系をもっていることが指摘されており⁴⁵⁾、家庭内での物質代謝の検討もそのような見地から試みる必要がある。

家庭での代謝の現状を、インプットとアウトプットの量で示したのが図 5-5 である。



5-4-2 家庭を対象とした質問紙調査⁵⁴⁾

5-2 で述べたように、家庭における物質消費を解明する良い方法は、資材や製品の購入ならびに廃棄の状況を把握する質問紙調査である。大部分の生活資材の購入や廃棄は通常は主婦によってなされるので、主婦を対象として調査をおこなうのが良い。質問内容は購入、廃用の時期とそれらの行動の理由、廃棄の意識などであるが、5-2 で述べた調査の基本的装幀によって実施することが必要である。

家庭の物理的空間における耐久消費材の占める位置は大きく、その取扱いについてはかなり正確に記憶されており、また、それらが廃棄したのちに環境に悪影響を与えていると認識する。調査の対象としては主として耐久消費材に注目し、その購入、所有、廃用の実態について質問をおこなった。耐久消費材をその機能の面から分類すると、食生活と関係の深い食料用品、衣服の収納・目的としたタンス類、住環境を快適にするための家具類、文化娯楽のための娯楽品などに大きく分けられ、表5-6に示すように、耐久消費材は分類される。耐久消費材のすべての網羅した調査は不可能であり、回答者が回答に専念する時間・労力を考慮して、代表的な品目を選ばなければならない。そこで、表5-6を基準として、たとえば、電気冷蔵庫、本箱、タンス、たてふし自転車、電気洗濯機、扇風機、机、マットレス、定接セット、自動車の12種を選び、2つの地域で調査を実施した。

1998年に実施した大阪府下中小都市における調査では、市内の4つの市を対象地域とし、小縮尺の地図上で作成した市界の抜き出しの地図と調査員が1対1で、家庭に質問紙を配布するとともに方法をとった。阪神圏の各都市で実施した調査では、回収率を良くすることを考慮して、各自持参を通じて各市に持参の清掃モニターや育成モニターの家庭に配布し、郵送による回収をおこなった。

質問紙の記入事項の集計に際して、まず表5-7に示す整理表を品目別に作成し、購入量、所有量、廃用量を一世帯あたりの値に換算して購入率、所有率、廃用割合^{*}をもとめた。例として、表5-8に平宮市における品目別の購入率、所有率、

表 5-6 耐久消費材の分類

衣類・靴類	衣類用、保種用、靴類	非 常 需 要
食料品	食料品	食料品、日用品、娯楽品
日用品	日用品	日用品、日用品、日用品
運動用品・交通用品	自転車、自動車	自転車、自動車、オートバイ
家具	住宅	机、椅子、机、椅子、机、椅子
人間の位置にかかわる住生活関連用品	事務・生活用机	机(座卓等)、いす、ソファ、ベッド、定接セット、マットレス、うたた
快適性を追求する住生活関連用品		扇風機、エアコン、こたつ、ストーブ、掃除機
文化的娯楽のための文化製品	本箱、本棚	テレビ、ステレオ、ラジオ、テープレコーダー、ピアノ、オルガン
その他	下駄箱	乳母車、鏡台

* 表5-8 の表を参照のこと。

表 5-7 耐久消費財の購入、廃用に関する整理表

整理番号 70-1-	年 代 数					対 象 地 区										対 象 財 質	電 気 通 信
年	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	1969	現 存	計	%
69															12	7.9	
67															7	4.6	
66															9	6.0	
65															9	6.0	
64															12	7.9	
63															9	6.0	
62															22	14.6	
61															14	9.3	
59															15	9.9	
58															27	17.9	
57															14	9.3	
56															13	8.6	
計	2	1	1	1				3	2	2	3	9	7	18	144	194	100
%	1.1	0.7	0.7	0.7				2.0	2.0	1.3	2.0	6.1	4.6	11.9		100	
I	23	7	13	14	27	15	14	22		12	9	9	7	12			
O	2	1	1	1	0	0	0	3	3	2	3	3	7	16			
R	21	27	39	52	79	94	108	127	133	143	149	149	149	149			
K	95	1027	1026	1019	10	10	10	1024	1023	1014	1020		1047	1020			

注) 縦が購入年度と、横が廃用年度を意味し、調査時に使用中のもつ「現存」の欄に示している。たとえば、1959年に購入して1968年に廃用した冷蔵庫がある。購入率は右欄に、廃用割合は下欄に示されており、所有数に対する廃用量として把握される。

廃用割合を示して

おく。各年ごとに

廃用量の所有率に

対する値を

とめ、式(5-1)の

係数Kの値と

した。耐久消費財

自身にもライフサ

イクルがあり、5-

3-2で定義した非

定常性指数 U_s に

よって、個々の財

の消長は判断する

ことができる。整

理表を用いて、各年ごとに

同一年に購入された財に対する

瞬間廃用率(単位時間が年であるので単

年度廃用率ともいうべきもの)や累積廃用率をもとめる。新しい年度に購入された財の長期間経過

表 5-8 耐久消費財の購入率、廃用割合、所有率の変化(平宮市)

	1958 (57-59 平均)			1962 (61-63 平均)			1967 (66-68 平均)		
	購入率	廃用割合	所有率	購入率	廃用割合	所有率	購入率	廃用割合	所有率
レ ー ー	11.2	0.2	36.5	9.6			11.6	11.5	123.4
冷 蔵 庫	4.1	0.2	25.0	14.8	2.1	4.1	9.4	7.0	107.8
本 箱	1.8	0.	25.2	4.1	0.	42.7	6.0	0.8	71.1
タ ン ス	5.5	1.0	48.4	3.9	0.5	69.5	4.1	6	90.1
机	3.1	0.	31.5	5.2	0.5		1.6	1.1	78.1
マ ー ト レ ス	1.6	0.	8.6	6.8	0.5	11.4	4.7	2.1	61.5
応 答 セ ャ ッ ト	2.3	0.5	14.3	3.1	0.2	21.9	1.6	1.8	35.7
自 動 車	0.2	0.	0.2	2.5	0.5	5.5	5.5	3.1	14.2
た た み	2.6	0.	22.1	4.9	1.0	30.1	8.4	3.9	53.9
自 転 車	3.1	0.2	18.8	6.0	1.0	37.1	6.7	4.9	52.9
洗 濯 機	5.7	0.	44.8	12.0	4.1	6.8	12.0	11.2	104.9
扇 風 機	4.7	0.5	34.6	10.9	1.6	71.6	7.6	4.1	107.8

* 廃用係数Kではなくて、その1年間に廃用となった家庭の数の全家庭数(回答数)に対する割合である。なお、単位はすべて%である。

後の瞬間廃用率や累積廃用率は直接には算定できないが、その傾向を知ることができる。累積廃用率を縦軸に、相対時間 t を横軸にとって得られる、累積廃用率関数 $P(t)$ のグラフが縦軸の値50%を横切る点の t の値として、 $T(50\%)$ を得る。

図5-6は神戸市でのテレビの廃用状況を、購入された年別の累積廃用率関数として、示したものである。 $T(50\%)$ の値が減少している傾向がみられ、数年間に平均的な耐用年数が約1年だけ減少していると考えられる。平均的代謝係数 K の変化を図5-7に示すが、テレビの K 値の伸び率はかなり大きい。図には2大都市のテレビの K 値をも示しているが、時間的な遅れがあるものの、ほぼ同じ増加傾向があらわれている*。図5-6より $T(50\%)$ の経年変化を推定し、その値と K 値とをとりあて、非定常性指数 U_s をもとめると、その値は大きくなって1に近づいている。1969年のテレビの所有率は神戸市域の回答で見ると100%を越えており、白黒テレビの普及率は

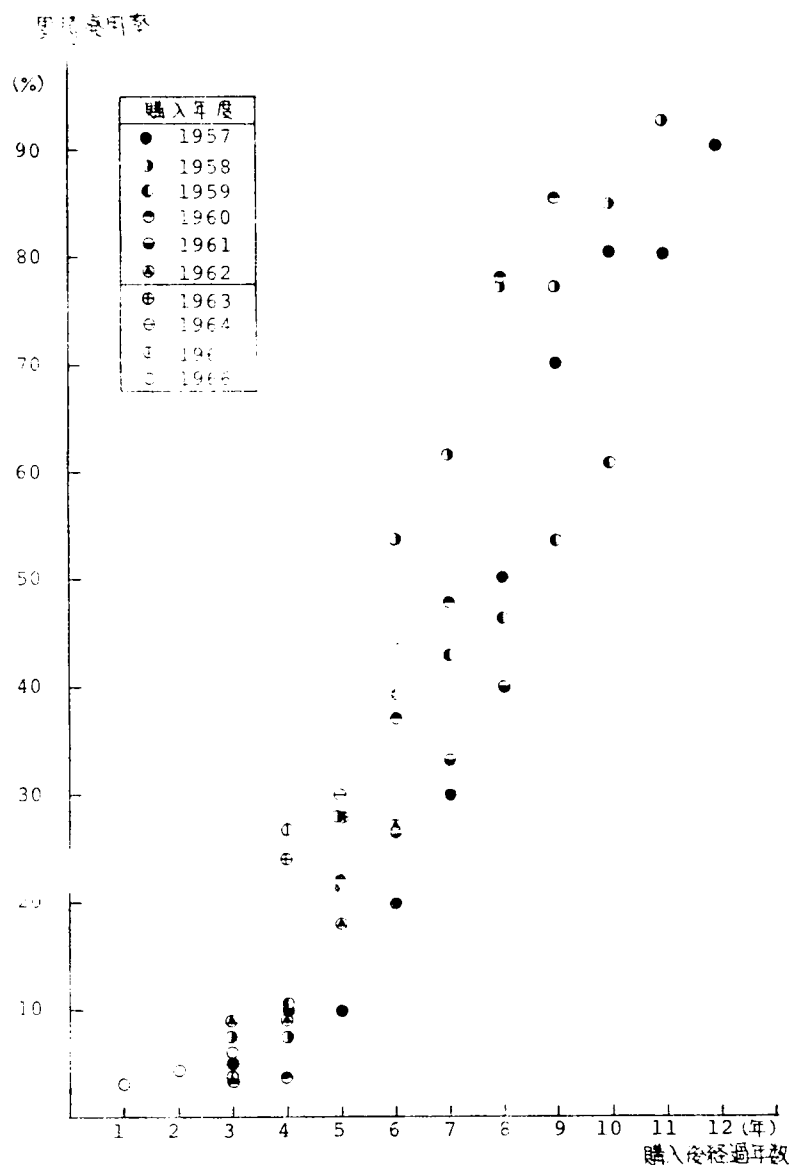


図5-6 テレビの累積廃用率（神戸市）

終了していると理解できる。しかし、 U_s の値の変化に対応するのは代謝のアウトプット側の変化であり、所有率としての普及は時間的にそれらよりも先行することに注意する必要がある。

神戸市域の回答を1962年以前に購入された耐久消費材と1963年以降のものにわけて整理し、それぞれの累積廃用率から $T(50\%)$ をもとめると、テレビ以外のものについても減少する傾向をみせている。図5-8は二つの時期の累積廃用率曲線を示したものであるが、データの不足のために1年ご

* 質問紙調査Ⅱの結果による。文献32)

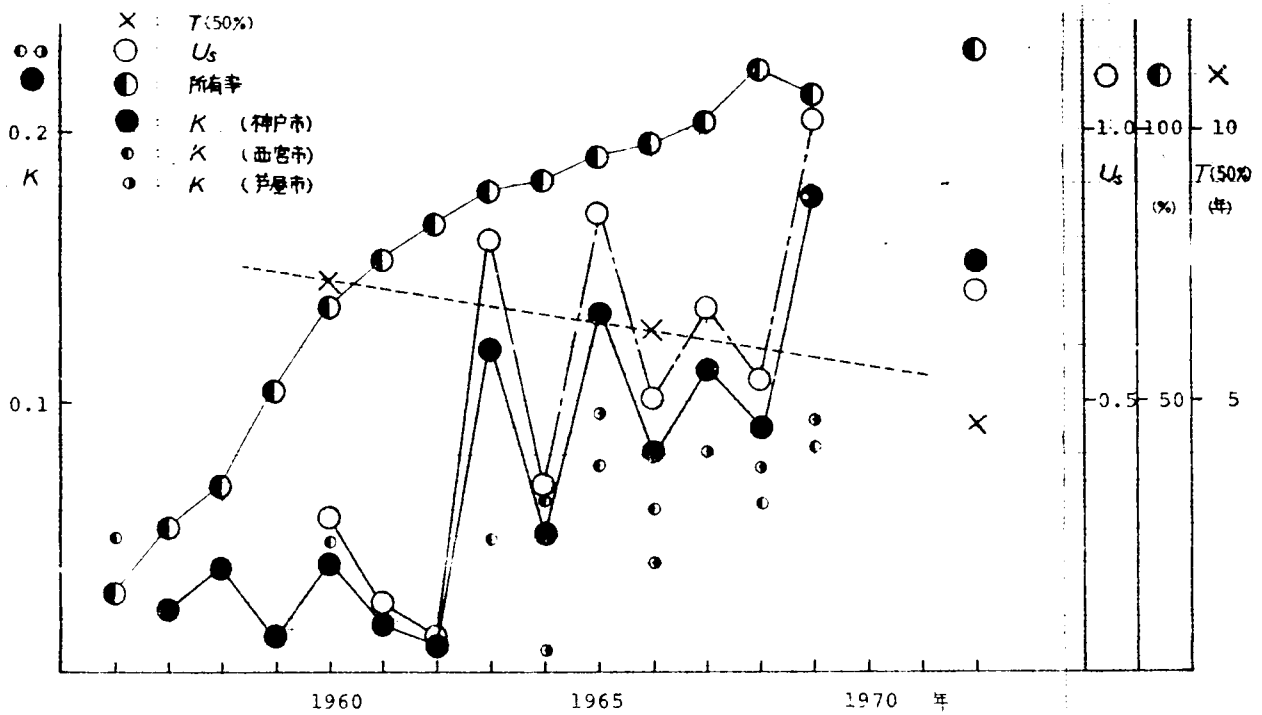


図 5-7 テレビの代謝(神戸市)

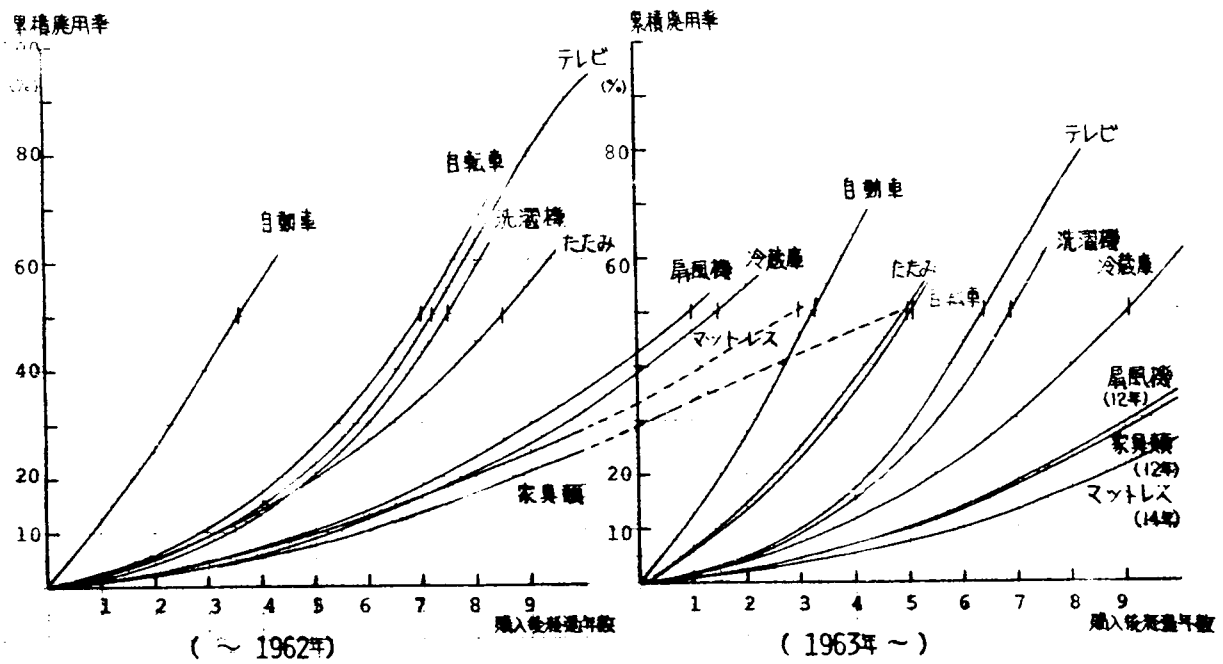


図 5-8 耐久消費財の累積利用率(神戸市)

との経年変化をあきらかにするには到っていない。この時期の T (50%) の値に対して、表 5-7 に例を示した整理表よりおのおのの時期の K の平均値を得て、非定常性指数 U_s を算定した。その結果を表 5-9 に示すが、0.5 と越える耐久消費財は多くはない。このことは、所有率からいってその耐久消費財が普及したと判断される場合でも、廃棄物の発生という代謝のアウトプット側が定常状態になるには、かなりの時間、少なくとも平均耐用年数が経過することが必要であることを示している。

耐久消費財の代謝過程を財のライフサイクルという点からいくつかの段階にわけるときには、普及率が有力な指標であることは論をまたない。たとえば、日本電機工業会によって提示された四つの型の普及進度の通は、平均普及率と 6 つの社会階層のうち最上と最低の層の普及率（これが平均普及率に対してしめる比の値）という二指標に「ターン」をおこなったものである^{*)}。しかし、所有率もしくは普及率から消費者の購入行動や需要開発に視点を向ける場合と、廃棄物の問題に視点をむける場合とでは、所有率あるいは普及率の意味は異なるであろう。

ついで、この成果をもとにして、耐久消費財の無効用空間占有に関する検討と耐久消費財の代謝からみた類型化を目的として実施した質問紙調査の結果について述べる。調査条件は表 5-1 に示すもので、この調査は調査 (I)、(II) が諸的に「耐用年数 K の経年変化」を把握することによっておこなわれていたのと比較すると、調査 (III) は対象を 30 種の耐久消費財に拡大したこと、廃用後の家庭内滞留に関する質問項目を設けたことが特徴である。

まず、累積廃用率曲線は図 5-9 のように示され、財の使用年数の分布は 3 つの型にわけられる。第 1 グループは短期廃用型ともいうべきもので、約 4 年の平均的耐用年数を示し、その前後の時期に大部分の財が廃用されている。子供用、育児用などの人間のライフサイクルにおいて一過性と考えられるものと、中心的な機能面で消耗の激しいものがこのグループに属している。第 2 グループは広範囲廃用型で、3 年より 11 年の間で平均的に廃用される傾向を示している。使用期間の平均値に対する標準偏差の比の値が大きく、廃用の動機に関連する因子が広範囲にわたっていることが推察される。このグループの耐久消費財の主たるものは家電製品であり、生活の向上、利便化や文化的要求に応えるべく導入された大量生産型の商品が属している。第 3 グループは長期廃用型で、15 年を越える使用年数をもつものがかなりの割合に達している。家具類が中心で、高度消費社会へ展開する以前においても住生活の基本財として所有されていたものが多く、耐久性の点では現在のも

表 5-9 耐久消費財の非定常性指数

耐久消費財	非定常性指数 U_s	
	1956~62	1963~68
テレビ	0.148	0.142
冷蔵庫	0.149	0.142
本	0.066	0.251
タンス	0.046	0.167
たたみ	0.140	0.335
自転車	0.490	0.414
電気洗濯機	0.309	0.629
扇風機	0.222	0.161
机	0.155	0.290
マットレス	0.363	0.570
応接セット	0.869	0.143
自動車	0.549	0.143

* 新規購入の記入むれが多く、不正確の度合いが強い。

のよりも優れているにもかかわらず、新製品と置換されつつある。新たに購入される場合も買い換えの場合も、洋装をとった生活様式への変化に影響されているところが大きい。

耐久消費材の廃用原因をみると、全体的には、機能の全面的停止によるものよりも、機能やデザインなどの劣ることの方が大きく位置づけられている。各品目のうちでモーターや発熱部分が重要な部品が単純であるような消費材では、機能の全面的停止によって廃用がなされているが、それ以外の消費材は累積廃用率が高かられた3つのグループのいずれかに分類されている。一方、新しい機能やデザインをもつものに買い換えるという行動は、グループに関係なく、40% 前後のほぼ均等な割合を示している。集合住宅化・非木造化にともなう部屋などの雰囲気や住環境の変化によって新型の財に換えられる割合は、第3グループの家具では比較的高く（26.8%）なっている。3つのグループごとの廃用原因の割

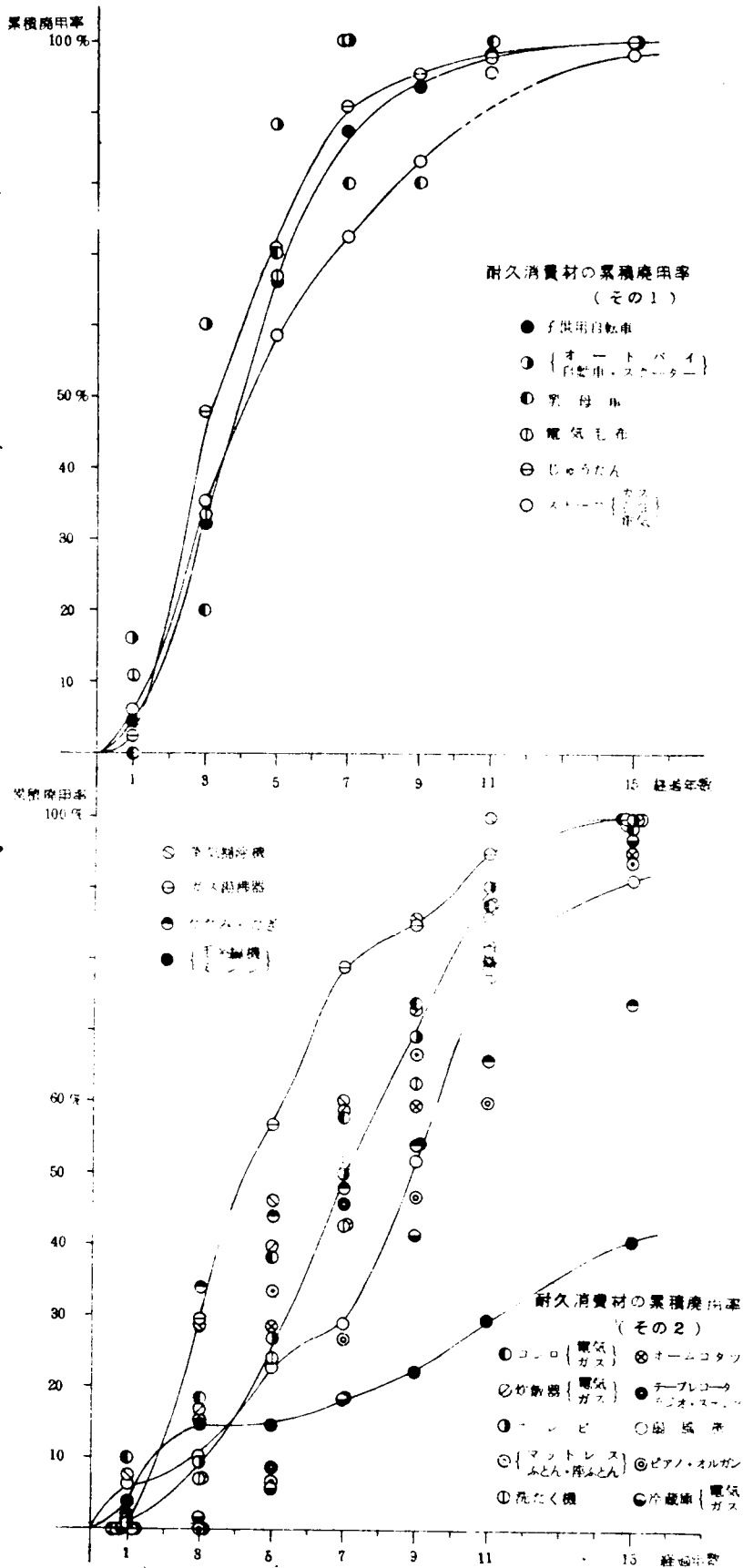


図 5-9 耐久消費材の累積廃用率(その 1,2)

合を表5-10に示す。

耐久消費材の効用が多様化するとともに、副次的な要因によって、物理的な耐用年数より短期間、社会的に廃用される傾向が強くなっているといえる。しかし、グループごとの平均的な使用期間と廃用原因との間に直接的関係はみられず、この結果からは、物理的な耐用年数と、消費者の意識から予想される卓越した廃用原因という二つの要因の相乗的效果によって使用期間が決定されているという構造を考えるのが適切である。

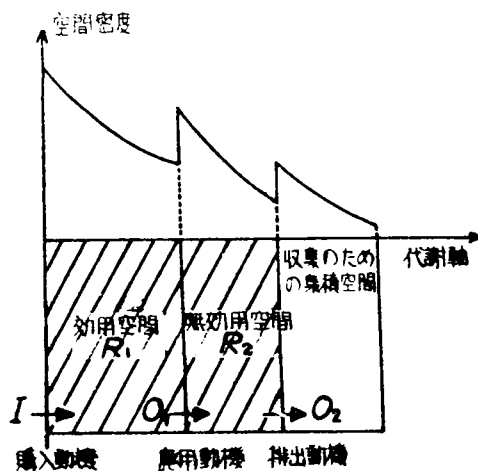


図 5-10 効用空間と無効用空間

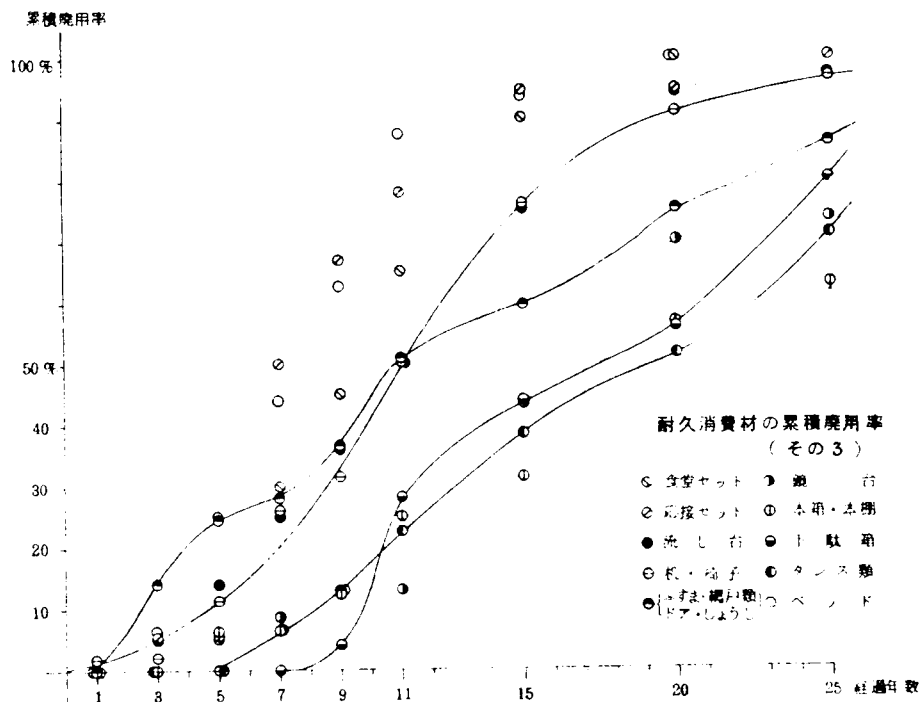


図 5-9 耐久消費材の累積廃用率（その3）

表5-10 耐久消費材の廃用の理由

廃用の原因	1	2	3
全体がこわれた。全体が使用に耐えなくなった。	27.1	35.0	22.6
部品がなく、修理がきかない。	11.3	9.7	3.8
修理費が高くつく。	7.1	9.2	3.4
機能的によいものに買換えた。	28.6	33.9	19.2
デザインの新しいもの、まわりの雰囲気にあうものに買換えた。	16.0	5.6	23.8
環境あるいは家族構成が変わった。	13.4	4.7	14.3
部屋がせまくなった。その場所に他のものを置きたがった。	1.8	1.3	12.5
もともとそのものは不要であった。他のものの付属品だった。	1.8	0.6	0.4

単位 % 3つのタイプ別

家庭における代謝の流れに沿って現象をみると、次のように貯留、移動、貯留というパターンをもち、代謝を生じさせる人間の動機が各段階ごとにあることが理解される。図5-10は、所有されている物資が効用を有する段階と直接的な効用を失った段階を分割して、代謝過程を表現したものであり、5-3-3 で述べた代謝

の流れの一部分を構成している。

効用を有する状態で代謝されている、物質サイクル上の空間を効用空間 (utility space) と呼び、これに対して直接的な効用を失った段階での同様の空間を無効用空間 (inutility space) と呼ぶ。効用空間占有量を R_1 、無効用空間占有量を R_2 とすれば、* 家庭内の耐久消費材に関するこれらの内容は、それぞれ、使用中の耐久消費材の量と廃物化した耐久消費材の滞留量に対応している。また、おのおのの空間からの離脱量 T_1, T_2 は、家庭の場合には、廃用量ならぬに家庭よりの排出量 (自己処分をも含む) を意味する。離脱量の空間占有量に対する比を K_1, K_2 であらわし、第一段代謝係数、第二段代謝係数と呼ぶ。一世帯あたりの対象消費材の R_1 を係数で示した指標が所有率である。一方、これまで廃棄物発生量と考えられてきた値には T_1, T_2 の性格をもつものが存在しており、清掃事業の収集量から把握されている廃棄物発生量は T_2 の一部を占めるものであることに留意する必要がある。

無効用空間での滞留時間を耐久消費材の種類ごとに検討する。廃用されてから排出されるまでの期間についての質問紙の回答を整理し、単位量の廃用がおこなわれたときの1日あたりの排出量を算定した。横軸に廃用後の経過日数を、縦軸に1日あたりの排出量をすなわち無効用空間よりの離脱率をとって、結果を示したのが図5-11である** 大部分の消費材では廃用後1週間以内に約半量が排出されている。経過日数について排出量を累計すると (図5-11のグラフを積分することに対応する。), 廃用後2日間ですでに 30% 近くが排出されているが、こ

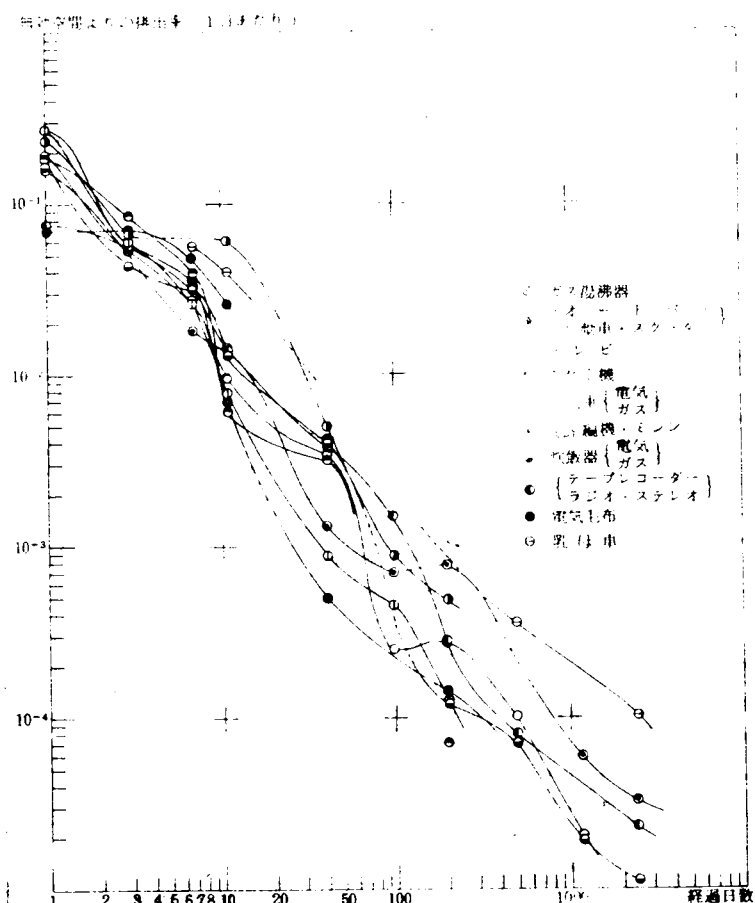


図5-11 無効用空間よりの耐久消費材の排出率 (その1)

* 式(2-20)の R_1, R_2 と対応している。

** 両好数であることに注意。おのおのの排出率を示す曲線を等間隔目盛の直交軸を用いて書きあらため、この軸とグラフとで囲まれる面積をもとめると、当然 1 となる。

の割合は処分方法として下取りされている割合(29.6%)と一致している。また、2日～3週間 間で排出されるものは約45%であり、月1回の粗大ゴミの収集ならびに廃品回収による処分の割合(41.6%)とほぼ斉合している。より長期の滞留を示す25%弱の財は、再利用された財(18.2%)のほか、自己処分によるもの(10.6%)の一部と対応していると考えられる。

排出状況から判断すると、30種の耐久消費財が3つのタイプに分類される。第1タイプは短期排出型で、家電類を中心に下取り制度がおこなわれている品目で構成され、その大半は2日未満で排出されている。粗大ゴミの収集や自己処分によって排出される割合の大きい家具や非家電製品は、比較的長い滞留時間を示す第2タイプの財に属し、1週間半から2ヶ月を経過するものがかなりの割合を占めている。子供用自転車や机・椅子などでは、2ヶ月以上の無効用空間の占有期間を示すものが30% 近くもあり、第3タイプの長期滞留型の一群を

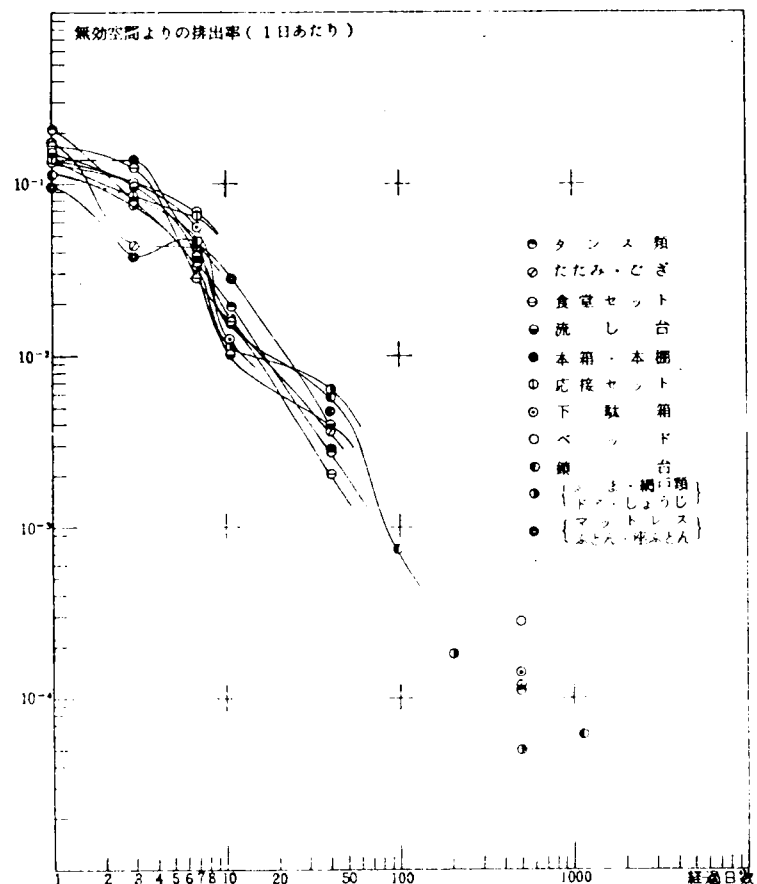
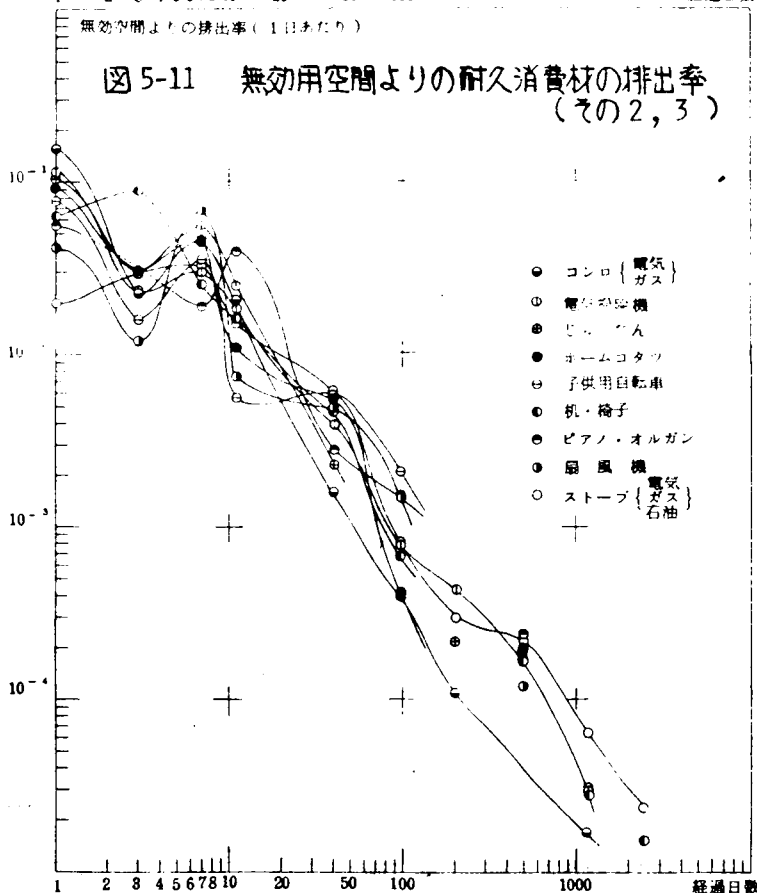


図 5-11 無効用空間よりの耐久消費材の排出率 (その2, 3)



形成している。この第3タイプには、廃用された時点では無効用であっても場所、時、人を変えて利用することを期待しているといえるような、財が多く含まれている。廃用から排出までに期間があった理由は、全体としては表 5-11 に示す割合となっている。

無効用空間の具体的な場所としては、押入、物置、倉庫などが考えられるが、都市部においては住宅事情が窮迫しているため、それらのスペースを十分に取ることが許されず、廃棄物の貯留機能が減じていることが推察される。表 5-12 は、独立の物置または倉庫がある場合とない場合にわけて、廃用から排出にいたる滞留時間の平均値の分布を示しており、相当の差がみとめられる。大部分の品目については、両集団の母分散が等しいという仮定のもとで平均値の差の検定をおこなえば、有意水準 5% で平均値は等しいという仮説は棄てることができる*。全品目の平均滞留時間を単純に比較すると、98 日と 72 日というように 3 倍程度の差があり、一応は廃用されたあとでも貯留しておく場所があると長く滞ることがあきらかである。排出するまでの保管の理

表 5-11 無効用占有期間のあった理由

無効用占有期間があった理由	1	2	3
再利用がわからないので残っていた	13.4	7.6	20.7
処分するのを忘れていた	7.3	6.8	6.1
だれか他の人に譲るつもりだった	13.4	7.6	19.5
ほかの用途に使うつもりだった	5.3	5.8	3.7
廃品回収業者がこなかった	12.2	12.2	7.3
粗大ゴミの収集日だった	48.4	49.7	42.7

単位 % 3つのタイプ別

表 5-12 無効用占有期間の平均値の分布

無効用占有期間の長さの範囲	該当耐久消費財	
	独立物置、倉庫がある	独立物置、倉庫がない
0~20 日	冷蔵庫、洗濯機、掃除機、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~40 日	自転車、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~60 日	冷蔵庫	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~80 日	冷蔵庫、洗濯機	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~100 日	冷蔵庫、洗濯機	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~120 日	掃除機、洗濯機	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~140 日		扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~160 日	炊飯器	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~180 日	本	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
~200 日	子供用品	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌
200~ 日	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌	扇風機、洗濯機、冷蔵庫、電化製品、家具、家電製品、自転車、パソコン、カメラ、ビデオ、CD、DVD、ゲーム機、おもちゃ、本、雑誌

由のうちの 13% がそのまま将来に使うことを考えており、これを含めて 34% が再利用の予定であったところから、廃棄物発生量を抑制する見地からは保管場所を確保することがひとつの有効な方策であろう。

耐久消費財に由来する廃棄物に限らず、廃棄物の将来発生量を予測することは、狭義にはそれに相応する処理施設の設置計画に必要であるが、廃棄物の発生抑制をも含めた廃棄物問題の総合的検討に際しても不可欠である。ただ、前者を望む立場からは過去のトレンドの延長といった初歩的な予測方法でも許容されるのに対して、後者では予測という行為を通じて廃棄物の発生構造などについて新たな知見を明らかにすることが必須である。たとえば、処理処分の政策の変更をとまなう場

* 2 検定による検定であるが、母分散が等しいとの仮定を検定する必要がある。

合の処理量などの諸値については、近年、システムダイナミックスの手法を用いた予測がおこなわれつつある。⁷⁾

ここでは、耐久消費材を対象として、財の普及過程と耐用年数の変化という二つの点を組み入れた予測について述べることにする。非定常性指数 U_s と $T(50\%)$ を用いて、予測の基本式は次のようにあらわされる。

$$O(t) = K(t) \cdot R(t) = \frac{U_s(t)}{T(50\%)} \cdot R(t) \quad (5-32)$$

構造的には、原単位が代謝係数という具体的な意味をもち、 U_s と半減期間と所有量（現存量）との関数として廃用量が表現されており、消費材自身のライフサイクルを考慮した動的な予測をなす点が有利である。たとえば、 $K=0.1$ /年、 $T(50\%)=5$ 年の現在値から将来を予測する場合、 $U_s=0.8$ となることを見込むと $U_s/T(50\%)=0.16$ /年 となるから、同じ $R(t)$ の値に対して $K=0.1$ /年 を用いる場合に比較して 60% の差が生じる。

そこで、各耐久消費材ごとに U_s 、 $T(50\%)$ 、 R の将来値をもとめて廃棄物発生量を推定することとする。1972 年に神戸市で実施した質問紙調査(Ⅲ)の結果にもとづき、所有率と廃用割合から代謝係数 K をもとめ、累積

廃棄率を示す図 5-9 より $T(50\%)$ を得て、 U_s の値を算定した。図 5-12 は、耐久消費材の種類を無視して、所有率と U_s との関係を示したものである。黒丸印は、所有率の値に含まれているデータ上の誤差を除去するために、神戸市内の所有率を統計値* によって代替させた場合の値である。

一般的な傾向としては所有率が増加するとともに U_s の値は増加するが、所有率が 90~100% の範囲に入

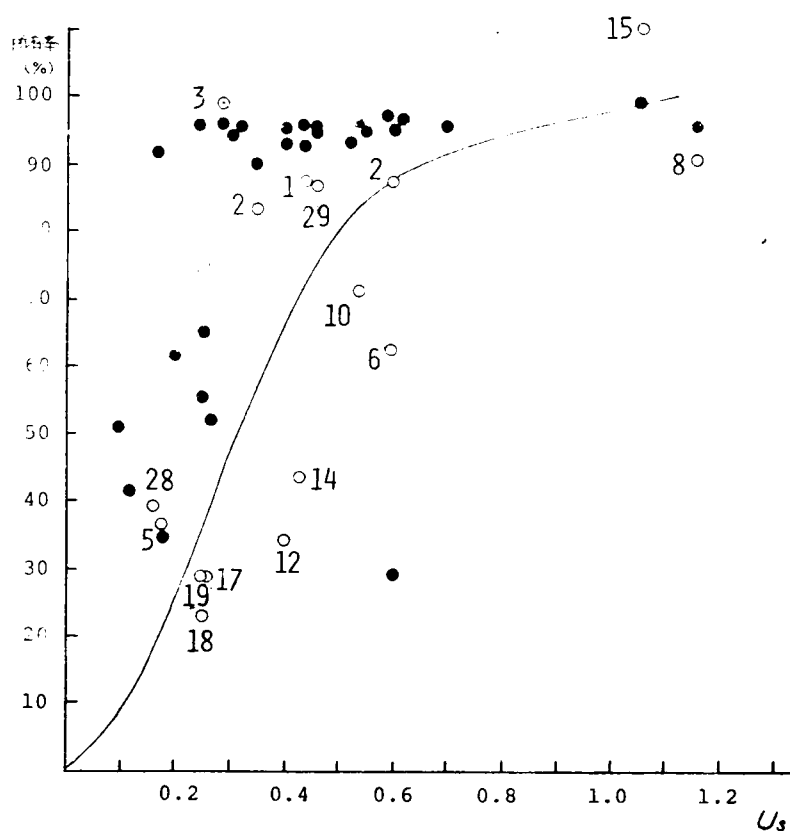


図 5-12 耐久消費材の所有率と U_s との関係

* 神戸市統計書(1972)

ても、当初は U_s は 0.5 未満の値にとどまり、平均的な耐用年数に相当する期間を経て 1.0 近くに達する。図 5-10 の傾向から、所有率と U_s の関係を次のように規格化する。所有率が 80% 未満では、所有率 10% の増加が U_s を 0.05 だけ増加させ、所有率が 80%~95% では、所有率 5% の増加が U_s を 0.15 だけ増加させ、所有率が 95% 以上になると、所有率はほとんど変化せずに、耐用年数を経過して U_s はほぼ 1 に達する。 $U_s > 1.0$ であるような財は、成熟期あるいは老衰期に入っていると考えられるが、その部分での動向をあきらかにするためには老衰期にある消費材を対象として質問紙調査を実施することが必要である。

シミュレーションの条件としては、世帯増加率を無視して、神戸市での質問紙調査で所有率が 80% 未満の材については 10%、80% 以上の材については 5% の所有率の増加を見込むこととする。ただし、洗濯機とテレビは調査時点ですでに $U_s > 1.0$ となっており、消費材のライフサイクルにおいて成熟期に入ったとみられるので、 U_s の値はひとまず固定することとする。つぎのそれぞれの場合について、30 種の耐久消費材の廃用量を推定し、比較してみる。

RUN 1 : 所有率が 95% 以上においても、所有率 5% の増加が U_s を 0.15 だけ増加させる。

RUN 2 : 所有率が 95% 以上になると、次式で U_s を算定する。

$$r_R(t_2) = r_R(t_1) + 5\% \cdot \frac{t_2 - t_1}{T(50\%)} \quad (5-33)$$

$$U_s(t_2) = U_s(t_1) + (1.0 - U_s(t_1)) \cdot \frac{t_2 - t_1}{T(50\%)} \quad (5-34)$$

ここに、 r_R は所有率であり、 $t = t_1$ は調査時を、 $t = t_2$ は予測時を意味し、 $t_2 - t_1 = 5$ とする。ただし、 U_s が 1.0 を越える場合には 1.0 とする。

RUN 3 : *RUN 1* の条件に、さらに、進行しつつある耐用年数の減少傾向を考慮して、 $T(50\%)$ を 20% だけ割引く。

RUN 4 : *RUN 2* の条件に、同様に $T(50\%)$ を 20% だけ割引く。

いずれの場合でも、所有率が 80% 未満、ならびに 80~95% の範囲では、前述の規格による手続きをおこなっている。

計算結果を表 5-13 に示す。全体としては *RUN 4* の場合の廃用量が多く、*RUN 1* の条件での値の 1.5 倍を越えることが通例となっている。すでに所有率が 90~100% となっているにもかかわらず、 U_s が小さい耐久消費材の廃用量は急激に増加することが予測されている。また、普及の初期、中期にあつて所有率が急増しつつある消費材よりも、所有率の増加が少なくなりはじめた消費材の方が廃用量の伸びが著しく、かなりの時間おくれがあることがシミュレーションの結果にもあらわれている。いずれにせよ、一世帯あたりの廃用量原単位を固定する推定法に比して、消費材の普及過程を考慮した場合には 1.5~2.0 倍、さらに耐用年数の減少傾向を見込むとそれ以上の廃用量が予想される。

表 5-13 耐久消費材の廃用量の予測

(神戸市)

	代謝係数	T(50%)	年	年間廃用率	現存量(1972年)	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4
扇 風 機	4.9	8.9	43.4	14.2	96.4	1.41	2.41	1.77	2.31
ホ ー ム コ タ	4.5	7.8	35.1	12.4	91.1	1.51	1.91	1.8	2.38
ストーブ(電気・ガス)	6.7	4.2	28.1	19.2	95.6	1.61	2.02	2.01	2.52
電 気 モ 布	1.7	4.0	1.8	2.7	51.5	2.07	2.07	2.59	2.59
オートバイ、自転車、スクーター	7.1	2.5	17.8	7.4	34.9	1.65	1.65	2.07	2.07
子供用自転車	15.7	3.8	59.7	13.9	29.6	1.45	1.45	1.81	1.81
乳 母 車	8.1	4.2	34.0	3.6	12.1	2.09	2.09	2.62	2.62
元 置 機	15.1	7.7	116.3	42.6	94.7	-	-	-	-
冷蔵庫(電気・ガス)	7.2	9.5	68.4	20.7	95.9	1.28	1.30	1.60	1.62
電 気 掃 除 機	9.6	5.6	53.8	27.5	95.6	1.45	1.86	1.69	2.32
炊飯器(電気・ガス)	8.0	6.2	50.9	23.0	94.1	1.37	1.70	1.71	2.13
電気洗濯機	4.2	4.2	39.9	23.9	83.7	1.26	1.26	1.57	1.57
電子レンジ(電気・ガス)	9.5	6.2	52.1	23.9	94.1	1.35	1.66	1.69	2.08
流 し 台	3.8	11.2	42.6	10.6	93.5	1.18	1.18	1.47	1.47
テ レ ビ	15.2	7.0	106.4	44.3	97.6	-	-	-	-
ラジオ、ステレオ、テープレコーダー	3.7	8.0	29.6	10.3	93.8	1.59	2.30	1.99	2.88
ピアノ、オルガン	2.9	9.6*	27.8	4.4	51.2	1.41	1.41	1.76	1.76
応 接 セ ッ ト	3.6	7.0	25.2	5.3	55.7	1.41	1.41	1.77	1.77
食 室 セ ッ ト	2.7	9.3	25.1	5.3	65.7	1.38	1.38	1.73	1.73
机 、 椅 子	5.6	11.0	61.6	15.9	95.3	1.30	1.25	1.63	1.69
タ ンス 類	3.1	19.4	60.1	9.2	97.6	1.31	1.23	1.64	1.54
鏡 台	2.4	16.3	39.1	6.8	94.4	1.18	1.18	1.48	1.48
本 箱、本 棚	1.7	19.0	32.3	4.7	95.6	1.54	1.64	1.93	2.05
ト 駄 箱	2.6	17.7	37.0	7.7	95.9	1.40	1.40	1.75	1.76
クーラー	1.4	6.5	11.1	9.7	45.9	1.4	1.4	1.18	1.54
メ ー ン フ ー ド	2.6	7.7	20.0	4.7	55.7	1.45	1.45	1.82	1.82
たたみ、ござ	5.1	7.8	39.8	14.8	96.2	1.45	2.07	1.81	2.59
ゆ づ 団 子	4.7	1.3	15.5	13.0	92.0	2.08	6.80	2.07	8.50
ミシン、毛糸編機	2.8	16.5	46.2	8.0	95.6	1.38	1.42	1.73	1.77
ドア、カーペット、網戸類	5.8	10.8	62.6	16.2	97.0	1.30	1.35	1.63	1.68
	%/年	年	%	10 ³ 周年	%	対1972年比	対1972年比	対1972年比	対1972年比

注) * 質問紙の回答が少なく、不正確である。年間廃用量、その他は1972年の値である。

以上の結果をかまえて、非定常の代謝の動向を検討してみることにする。廃用は、数理的には、平均耐用年数の周辺で頻度の多い確率密度関数に支配されていると考えることができるので、ひとまず、同一年度に供用が開始された財の瞬間廃用率の分布としてもっとも簡単なモデルである正規分布を設定する。消費材のライフサイクルを表現するために、現存量の変化を台形分布として与えると、任意の時点での代謝係数は次の操作により計算される。(図5-13参照)

$$(5-35) \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\left(\frac{t-m}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2}$$

$$R(t) = \begin{cases} at & t \leq t_1 \\ c & t_1 < t < t_2 \\ c-at & t_2 \leq t \end{cases} \quad (5-36)$$

時間区割り(ステップ)を Δt とし、 $I(n \cdot \Delta t)$ を $(n-1)$ 番目の区割りから n 番目の区割りまでの間の新規供用量とすると、それは次のようにあらわされる。

$$I(n \cdot \Delta t) = R(n \cdot \Delta t) - \sum_{i=1}^{n-1} I(i \cdot \Delta t) \cdot \int_{(n-i) \cdot \Delta t}^{\infty} f(t) dt \quad (5-37)$$

ここに、右辺第二項は $(n-1) \cdot \Delta t$ までに供用が開始された財のうち、 $n \cdot \Delta t$ の時点で使用中(現存)の量を意味する。一方、廃用量 $O(n \cdot \Delta t)$ は二つの式で表現される。

$$O(n \cdot \Delta t) = \sum_{i=1}^{n-1} I(i \cdot \Delta t) \cdot \int_{(n-i) \cdot \Delta t}^{(n-i-1) \cdot \Delta t} f(t) dt \quad (5-38)$$

$$O(n \cdot \Delta t) = -I(n \cdot \Delta t) + R((n-1) \cdot \Delta t) + I((n-1) \cdot \Delta t) \quad (5-39)$$

式(5-39)は $(n-1) \cdot \Delta t$ より $n \cdot \Delta t$ までの間の収支式であり、式(5-37)も、廃用量はexplicitに表現されていないが、同様の間の廃用量を補充する新規供用開始量という点からみた収支式の変形である。 $K(t)$ は $R(t)$ の推移を基本として、これに式(5-38)で与えられる漸化式的な関係を用いて、

$$K(t) = O(t) / R(t) \quad (5-1)$$

表現される。

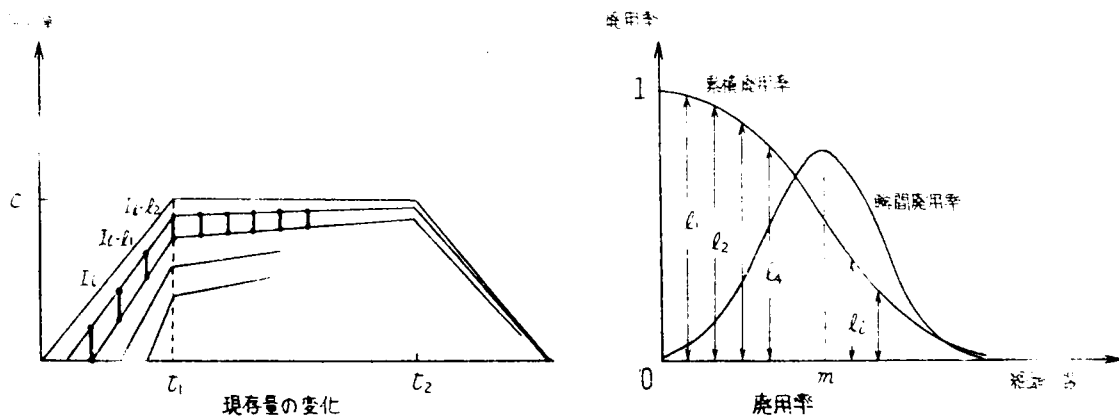


図 5-13 非定常の代謝の動向

$C=100$ とし、 t_1, t_2, t_3, σ, m に値を与えて計算した結果を図5-14に示す。平均耐用年数 m が t_1, t_2, t_3 などに対して十分に小さい場合には、 $t_1 \leq t \leq t_2$ の範囲では K 値の遅延傾向

は顕著ではない。耐用年数が長く、普及開始よりほぼ普及が完了するまでの期間と同程度の場合には、所有率が100%に接近してからも非定常の状態が続く、廃用量は増加することが図から読みとれる。カラーテレビの普及過程*に代表されるように、耐久消費材の多くの場合には、 m の t_1 に対する割合は0.5を越えるので、すでに述べたような代謝係数 k の伸びのおくれがみられるのである。

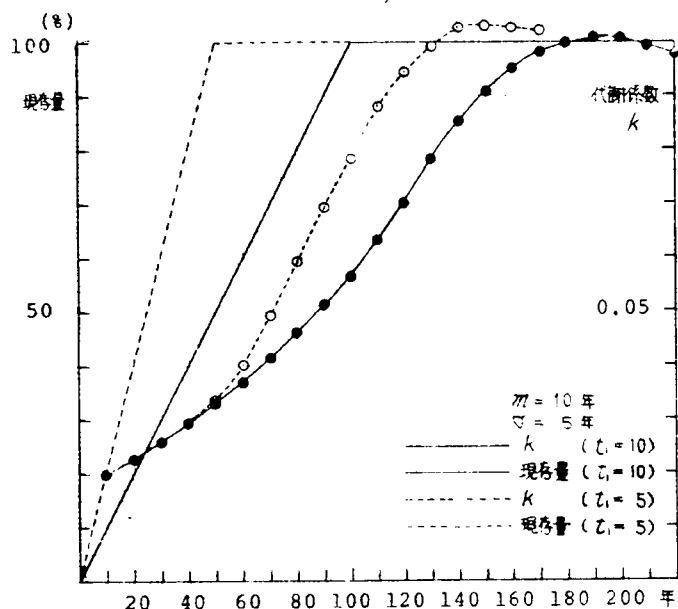


図5-14 代謝係数 k の変化

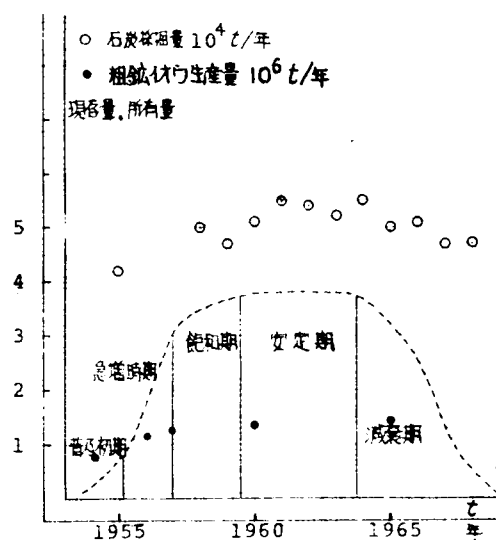


図5-15 消費材の普及過程

前述のシミュレーションにおいては、 $U_s < 1$ における挙動のみを取扱ってきた。これは表5-13の多くの消費材が材のライフサイクルの成長期にあるためである。しかし、テレビや洗濯機にその傾向があらわれているように、安定期（所有率がほぼ一定）、あるいは種類によっては減衰期へと変化する消費材も増加して、これは避けられない。減衰期に入った消費材について、統計は、需要や関心が少ないので十分に整備されておらず、その傾向もあきらかではないが、ひとまず、消費材の普及に関するライフサイクルの第三部とは逆に現存量の減少が加速されるモデルを考えることができる。図5-13は消費材が普及しはじめてから供用が途絶えるまでの過渡期の模式図であるが、現状では減衰期を成長期と同様に三相に分けることの是非を判定する資料はない。図5-15には、参考のために、国内で採掘された石炭とイオウの量を示している。いずれも家庭での代謝というよりも次節の産業での代謝と関係が深い、供給量は河川に転じており、その背景として前者ではエネルギー消費構造の変化、後者では脱硫装置からの回収イオウの増加をあげることができる。供給量は現存量の変化に先じて将来の傾向をあらわす先行指標であるので、現存量の動向と同一には論じられないが、家庭での消費についても対象としている材の競合材、代替材との関係を把握することが不可欠であると考えられる。

5-5 産業における製品レベルの調査と代謝に関する二・三の考察

5-5-1 産業における物質代謝

各種の産業において、搬入された資材が加工され、製品が生産される過程で廃棄物が生みだされている。直接的には第二次産業によって生産された物質が潜在廃棄物環境を構成することとなるが、それらに資源・資材を提供する形で農業、林業、水産業ならびに鉱業という古典的な第一次産業も寄与している。これらの第一次産業から直接「家庭へもたらされて消費される物質は、食料の一部など」に限られる。さらに、電気事業や水道事業は資源を供給している点で第一次産業的である。第一次産業にも各種の加工品が供給されており、部分的には自然の機能に依存しない点もみられる。ところが、自然環境との接点で資源を採取しているという特性は他と区別されるに十分である。

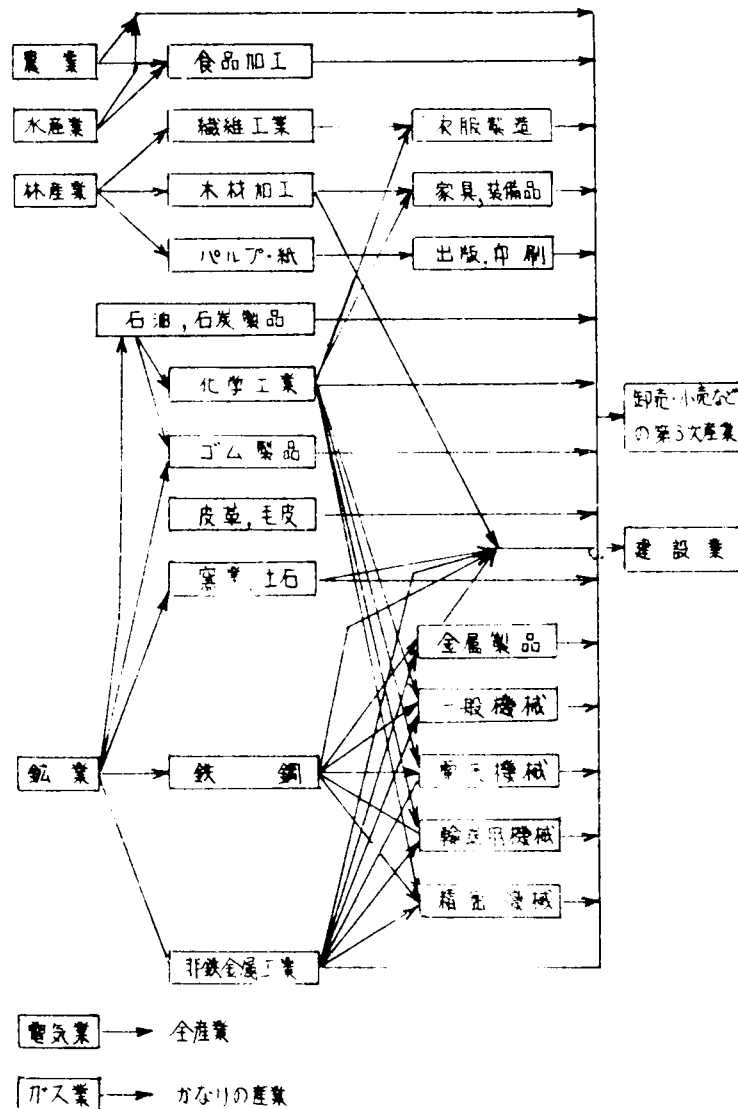


図5-16 製造業を中心とした生産活動の分類

ひとまず、図5-16 のように人間の生産活動は分類されるが、対象とする物質ごとに物質循環の流れに沿って特徴的な過程を分割することによって、より明快になるであろう。潜在廃棄物が集積している都市においては、第二次産業が立地することが多く、また、潜在廃棄物環境とのかかわりも強いところから、具体的な分析については第二次産業、とくに製造業に限定して議論を進めることとする。しかし、都市がそれ自身だけでは成立しえないように、第一次産業なしには潜在廃棄物環境もありえないことも真実であり、都市と農村との対立として生みだされているいくつかの代謝上の問題を解決するためにも、早急に第一次産業ならびに農村の役割について独自に検討することが必要である。

第二次産業を経由する段階での物質代謝の特徴は、次のように簡潔にまとめられる。

- (i) 代謝量の全般的増大，なかでも石油，鉄鋼などの大量生産型基幹産業の伸びが著しい。
- (ii) 物質の種類が化合物，製品のレベルを問わず増大し，代謝の経路はますます複雑化している。

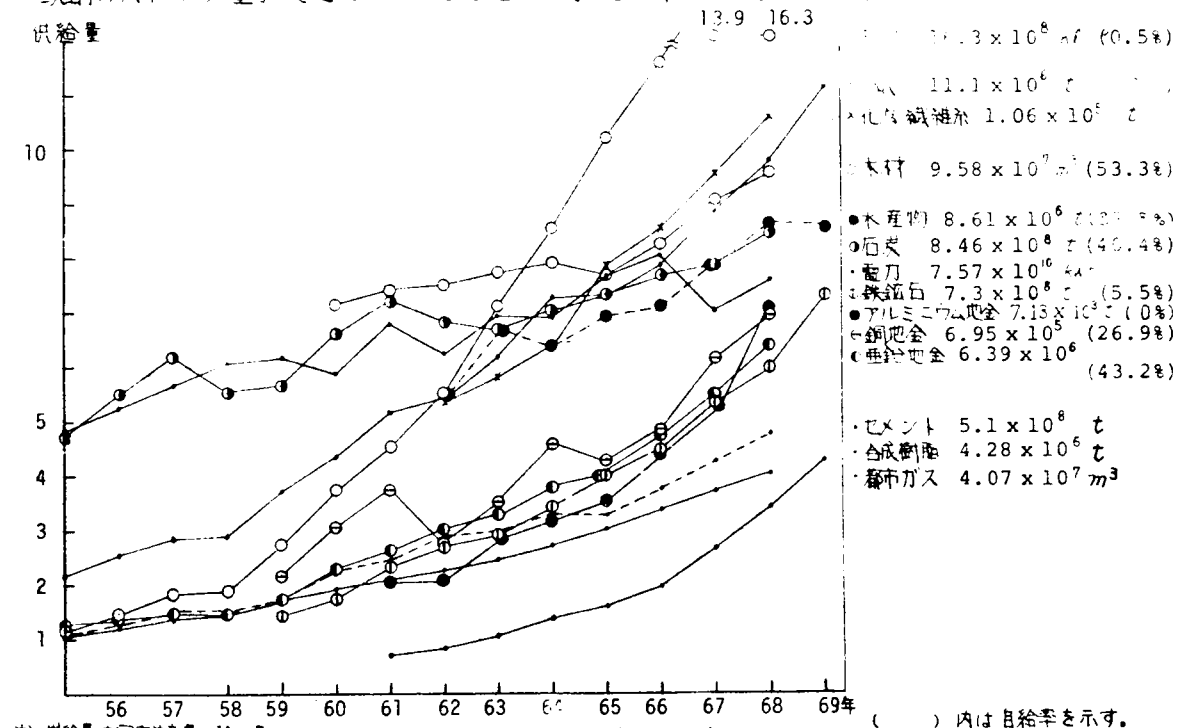
(iii) 生産の伸びを支えるために生産過程の設備への投資が増大し，生産物とそのまゝ供用する生産過程での自己消費量も少なくない。

(iv) 消費社会のワケ組みのなかにあつて，消費過程への供給量を一定以上に保ち，大量生産システムをつづけざるをえない構造が，結果として製品の耐用年数を増加させないという傾向がある。

(v) 生産過程での代謝量を規定する背景として，狭義の経済的要因のみではなく，公害問題，環境問題さらに資源問題がみられるようになってきている。

(vi) 環境のいたるところで直接的，間接的に影響を与えるほどに供給量が大きくなり，適切な代謝の管理が要求されている。

第二次産業での物質代謝の動向は，そのインプットとしての各種資材の変化，第二次産業自身の設備などのストックの変化，アウトプットとしての製品出荷の変化，生産にともない発生する廃物の変化などの視点からみることが必要である。まず，第二次産業に対する主要な資源・資材の供給量の変化を示したのが図 5-17 であるが，農産物や水産物のように加工を経ずに直接に消費されるものも含まれている。GNPで表現される経済規模の増大とともに資材供給量の増加がみられるが，多くの資源では海外依存率を強めている。⁽⁸⁾これに対して，第二次産業自身のストック量の変化は，投入資材量や個々の製品の生産量の変化とは異なり，統計上十分に把握されているとはいいがたない。鉄鋼のストック量の変化について 5-5-2 で論じるが，一般的には主要な物質のストック量を算

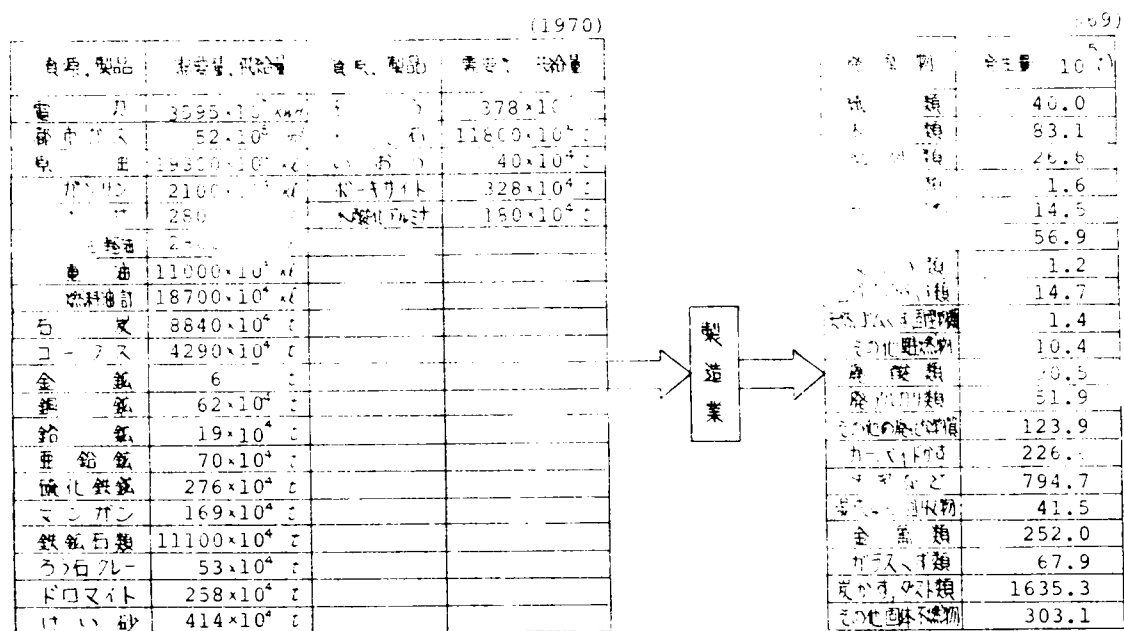


定することすら簡単ではない。経済的には設備投資額に一定の減価償却をおこない、それを積分することによって得られるが、物価指数で修正をおこなったとしても金額と物量との対応が長期的に安定しているとは考えられないので、一つの目安にすぎないだろう。

図5-17の二次産業の生産量の合計は、物質サイクルの経路が組みあわさっているのど、算定する断面によって値が異なる。表5-3に示したすべてのレベルの物を総括して算定するとすれば、同じ物質が何回か形を変えて加算されることを避けることはかなり困難である。そこで断面として物質サイクルの前段部を採り、一次加工による素材の生産物に注目すると、いくつかの資料^{(99), (100), (101)}によって、図5-18に示すような状況がみいだされる。

一方、生産にともなう廃棄物の発生量はここ数年の間に、しかも単年度の値として把握されているにすぎない。いくつかの自治体で実施されている産業廃棄物発生量調査の結果が情報を提供しているが、生産量と対応させて検討するには十分でない。ここでは、1970年の通産省管轄の製造業を対象とした実態調査（対象業種の総出荷額の67.3%に相当する図表状態）の結果⁽¹⁰²⁾から発生廃棄物量を図5-18に添えておくにとどめる。

いずれにせよ、産業をひとりの単位とする物質収支をあきうかにする、ことは重要な課題であり、続いて、いくつかの主要物質を対象とした具体的検討をおこなう。



産業廃棄物処理処分状況調査報告書
 経済省公害保安局, 1970年11月
 製造業, 木材・繊維製品, 木材・木製品, 家具などの製造業(中分類18, 20の一部, 21, 22, 23)に属するものを除く。

図5-18 製造業の資源と発生廃棄物

5-5-2 鉄鋼、木材、プラスチック、紙、セメントの代謝に関する検討

3-4-1でも述べたように、鉄鋼は潜在廃棄物環境を構成するきわめて重要な指標物質であり、その物質サイクルの各段階での諸値を把握することの意義は大きい。鉄鋼の・メサイクルは次の4つの変換を含むフローとして考えられ、それに付随する他の物質の流れについては、主である鉄の流れに対する比を用いて第一近似的な近似がなされるであろう。4つの変換とは、Ⅰ. 鉄鉄の生産、Ⅱ. 粗鋼の生産、Ⅲ. 鉄鋼素材の生産、Ⅳ. 鉄鋼加工による製品の生産であり、おのおの変換について統計の有無をも含めて述べることにする。資料の関係から昭和45年度(1970年4月～1971年3月)の実績を中心として検討する。⁽⁶³⁾

変換Ⅰでは、高炉鉄用に $108,345 \times 10^3 \text{ t}$ 、転炉鉄、その他の鉄用に $839 \times 10^3 \text{ t}$ の鉄鉱石類が用いられ、高炉鉄が $69,023 \times 10^3 \text{ t}$ 、その他の鉄が $524 \times 10^3 \text{ t}$ 生産されている。この鉄鋼石類の内訳⁽⁶⁴⁾をみると、鉄鋼石が 97%、砂鉄が 1.5%、硫酸焼鉱が 1.4%、鉄くずが 0.1% となっている。鉄鉄の輸出入としては、輸入が $2,347 \times 10^3 \text{ t}$ 、輸出が $22 \times 10^3 \text{ t}$ という値を示している。

変換Ⅱでは鉄鋼のインプット・アウトプットとして、平炉では $1,456 \times 10^3 \text{ t}$ の鉄鉄、 $3181 \times 10^3 \text{ t}$ の粗鋼の流れがあり、転炉では $68,815 \times 10^3 \text{ t}$ の鉄鉄、 $73,515 \times 10^3 \text{ t}$ の粗鋼、さらに電炉では $478 \times 10^3 \text{ t}$ の鉄鉄、 $15,710 \times 10^3 \text{ t}$ の粗鋼の流れがある。鉄鉄に加えて約 $11,000 \times 10^3 \text{ t}$ の鉄くずが資材として投入されており、その内訳は、国内よりの購入高が 10%、輸入購入高が 78%、回収ならびに還元が 12% となっている。鉄鉄のうちで $310 \times 10^3 \text{ t}$ は鋳物用に使われ、その他の用途に $310 \times 10^3 \text{ t}$ が用いられている。

変換Ⅲでは全粗鋼 $92,406 \times 10^3 \text{ t}$ のうち、普通鋼圧延用に $79,653 \times 10^3 \text{ t}$ が供され、アウトプットとして $65,524 \times 10^3 \text{ t}$ の普通鋼圧延鋼材が生産される。同様に特殊鋼圧延用に $10,285 \times 10^3 \text{ t}$ が供され、特殊鋼圧延鋼材が $7,365 \times 10^3 \text{ t}$ 生産されている。ただし、普通鋼圧延鋼材では在庫への繰入が $4,666 \times 10^3 \text{ t}$ 、繰越が $6,140 \times 10^3 \text{ t}$ 、輸入が $18 \times 10^3 \text{ t}$ 、輸出が $15,870 \times 10^3 \text{ t}$ という値を示し、特殊鋼圧延鋼材では在庫への繰入が $320 \times 10^3 \text{ t}$ 、繰越が $403 \times 10^3 \text{ t}$ 、輸入が $5 \times 10^3 \text{ t}$ 、輸出が $943 \times 10^3 \text{ t}$ という値を示し、かなりの部分が輸出されていることに注意する必要がある。さらに、鍛鋼用に $1,050 \times 10^3 \text{ t}$ が供されて $733 \times 10^3 \text{ t}$ の生産高を、鋳鋼用に $1,418 \times 10^3 \text{ t}$ が供されて $882 \times 10^3 \text{ t}$ の生産高を示している。なお、どの段階においても、在庫への繰入と繰越があるので供給量と消費量とは一致しないが、在庫量が急増あるいは急減している傾向がみられない場合には、等しいとみなすことができよう。鋳物用鉄鉄に加えて、その他用の鉄鉄の一部ならびに他の鋼からの転換分をも含めて、鋳鉄管 $586 \times 10^3 \text{ t}$ 、鉄鉄鋳物 $4,639 \times 10^3 \text{ t}$ 、可鍛鋳鉄 $427 \times 10^3 \text{ t}$ 、フェロアロイ $1,777 \times 10^3 \text{ t}$ が生産されている。

変換Ⅳは鋼材の各種の加工にあたるのでその収支を明らかにすることは最も困難であるが、鉄鋼倶楽部用途別統計委員会によって普通鋼材の 2/3 強の最終用途が判明している。鉄を指標物質と

して廃物量と蓄積量を予測している試み¹⁰⁾では、使途不明を60%程度として計算を進めているが、ここでは「最終使途を追求しないもの及び判明しないもの」を構成する次工程用、最終使途不明の再加工用、販売業者ならびにシャ-業者向用、輸出用のうちで、前三者についてさらに検討を加えることとする。

1973年1月中の普通鋼鋼材の用途別受注状況¹⁰⁾を「最終使途を追求しないもの及び判明しないもの」に相当する用途についてのみ示したのが、表5-14である。さらに再加工用も使途不明のうち0.1%未満であり、残りの次工程用(10.5%)、販売業者向(33.6%)、シャ-業者向(11.4%)に注目すればよい。同じ時期の普通鋼材製品の生産量をみると、鉄線、釘、針金、金鋼をあわせて 179×10^3 t であるところから、次工程用の線材のかなりがそれらに転換されており、販売業者向の棒鋼やシャ-業者向の厚板や熱延コイルとともに小規模金物や各種製品の部品を構成してゐるものと推定される。うなみに、硬鋼線、鋼索、溶接棒、磨棒鋼といふ四つの鉄鋼加工製品の昭和45年度の生産量は $1,760 \times 10^3$ t で鉄鉄生産量の2.5%に相当する。これに対して、販売業者向の形鋼やH形鋼は各種の産業機械の部材として加工されたり、あるいは土木・建築工事に用いられているであろう。いずれにしても、販売業者向ならびにシャ-業者向とは通産省によって実施されている需給調査の対象とならない比較的小規模の業者への供給であるから、鉄鋼の流れを把握することは日本の鉄鋼関連産業の二重構造を解明することと大きな関連がある。

鉄鋼の生産過程での流れをあらわすために、ひとまず、軌条と鉄道車輛用、(鋼矢板、形鋼、

表 5-14 最終使途不明の普通鋼材量

	内需と輸出合計	次工程用	再加工用	販売業者向	シャ-業者向	輸 出	推定平均耐用年数
合 計	6,445,772	384,826	3,003	1,224,698	414	22,030	
軌 条	1,570	-	-	2,564	-	24,174	40
鋼 矢 板	171,663	-	-	1,137	-	2,602	5
形 鋼	399,125	-	67	1,220,063	-	101,272	30
H 形 鋼	475,483	-	-	1,619,209	-	43,218	40
リムリング ワッシャー	7,959	-	-	-	-	454	20
軽量形鋼	103,504	-	-	60,780	-	758	30
棒 鋼	823,719	15 58,926	47 1,407	2,023,055	-	24,313	10
線 材	418,116	80 306,007	-	9,779	-	82,970	5
厚 板	1,191,077	5,192	234	58,521	52 216,746	185,017	20
熱延コイル	809,240	1,568	566	25,123	33 137,314	304,83,265	20
熱延薄板	55,845	108	141	10,321	6,113	13,796	20
冷延鋼板類	806,964	5,801	220	64,497	53,229	1,930,7,150	20
電気鋼板	86,344	-	-	-	-	32,863	20
ア リ キ	138,093	-	-	-	-	59,747	10
亜鉛鉄板	161,692	-	-	80,175	196	64,207	10
その他の表面 処理鋼板	197,345	779	199	27,398	1,064	30,743	10
鋼 管	716,033	6,445	169	2,024,076	-	1,016,581	30

注) 1973年1月の実績で、最終使途不明の材料は鉄鋼連盟用途別統計委員会による。単位はトンで、アンダーラインつきのイタリック数字は、用途ごとに普通鋼材のしる割合を意味する(単位%)

H形鋼，軽量形鋼）を建設および補修用に，鋼管を各種の管用に，（垂鉛鉄板，表面処理鋼板）をその他の諸成品用に，棒鋼より冷延鋼板類までの各種鋼材のうち販売業者向の量を産業用機械器具用に，（次工程用，再加工用ならびにシャ－業者向）の量をその他の諸成品用に配分しておく。ついで，鉄鋼としての潜在廃棄物の現存と代謝に注目する立場から，鋼材品種別に耐用年数を設定することによって，使途不明の部分を評価しておく。

一般的に，用途ごとの廃用率がなんらかの形で定式化され，用途別供用量 I_i の相対的割合が変化しないとすれば，平均的な廃用率は次のように表現されるであろう。

$$f(\tau) = \frac{\sum I_i \cdot f_i(\tau)}{\sum I_i} \quad (5-39)$$

ここに τ は供用後の経過時間であり，廃用率 $f_i(\tau)$ が一次関数を基調にもつならば， $f(\tau)$ は二次関数的な様相を示す。50% の財が廃用されるまでの期間として平均的な耐用年数が与えられたとしても，廃用率の分布にはいくつかの形状があるので注意する必要があることについては，すでに耐久消費財や建築物の代謝に関して実例を示しておいた。一般的には，耐久消費財検討にみられるように，廃用の動機，供用期間などについて質問紙調査を実施し，その財の社会での普及過程にあわせて平均的な廃用率を決定すればよい。もし，用途別に十分細分して廃用率を表せば，廃用率の分布は単純な矩形，三角形，台形とみなすことも可能となるであろう。そこで，輸出を除く使途不明の鋼材の平均的な廃用率を，品種別の台形分布をもつ廃用率関数の合成としてもとめておく。財の半量が廃用されるまでの年数，5-3-2 の T (50%) に相当) m の値を表 5-14 の右欄のように与え， $m/3$ より廃用率が直線的に増加しはじめ， $2m/3$ の時期で廃用率が一定値に達し， $4m/3$ の時期まで続き，その後直線的に減少して $5m/3$ に到ってゼロになるものとする。図 5-19 は合

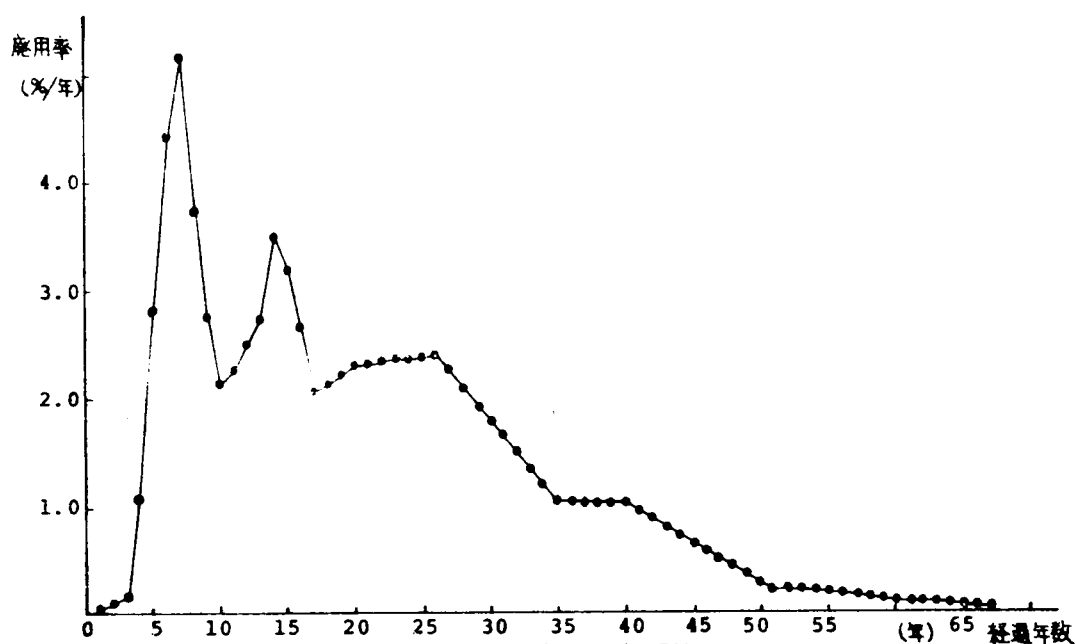


図 5-19 使途不明の鋼材の推定廃用率関数

成された廃用率関数を示したものであるが、用途の分割数が増加すればするほど、その分布はなめらかとなるであろう。

一方、特殊鋼・熱間圧延鋼材の種類別生産の内訳をみると、炭素工具鋼と合金工具鋼を中心とする工具鋼が 238,137t、機械構造用炭素鋼と構造用合金鋼とがあわせて 3,672,581t、ステンレス鋼と高抗張力鋼を中心とする特殊用途鋼が 3,454,382t となっている。鍛鋼を加工した鍛工品（ 850×10^3 t）、鋳鋼ならびに鋳物用鋳鉄を加工した鋳鉄鋳物（ $4,638 \times 10^3$ t）、可鍛鋳鉄（ 430×10^3 t）、鋳鉄管（ 586×10^3 t）の用途別割合は、それらに準じて推定した特殊鋼・熱間圧延鋼材の用途別割合を表 5-15 に示す。

表 5-15 普通鋼圧延鋼材を除く成品の用途別割合

	鍛工品	鋳鉄鋳物	可鍛鋳鉄	鋳鉄管	特殊鋼
内需合計(10^3 t)	807	4,638	302	586	1,061
産業機械器具用	27.1%	25.0%	6.0%	-	28.6%
土木建築・機械用	10.0	1.1	-	-	-
農機具・漁具用	2.4	1.3	1.0	-	-
繊維機械用	-	2.8	-	-	-
金属加工・作機用	-	4.9	-	-	-
電気機械・通信機器用	1.4	3.2	4.2	-	-
口・皿用	-	2.7	-	-	-
鋳型・鋳型定盤用	-	28.5	-	-	-
工 具 用	2.2	-	-	-	3.1
自 動 車 用	37.1	20.1	38.3	-	-
鉄道・産業車輛・自動車用	4.1	1.5	1.9	-	-
港湾船舶用	5.7	2.7	-	-	-
日用品用	-	2.0	-	-	-
管・継手用	-	-	42.7	100.0%	-
土木建築構造物用	-	-	-	-	19.5
機械部品用	-	-	-	-	45.2
その他用	5.8	4.4	5.2	-	-

以上の鉄鋼の流れを鋳鉄の生産量を 1000 とする相対値であらわすと、図 5-20 が得られる。変換Ⅳのアウトプットには多種の製品があり、それらに含まれている鋼材を算定することは困難であるが、建物資材を除いて家庭に流入

る部分は、電気機械器具用の一部としての家電製品、家庭用および事務用機械・器具の一部としての家具、自動車用ならびに容器用の一部分、その他の諸成品用の一部分であり、鋳鉄生産量の 10~15% 程度であろう。普通鋼圧延鋼材の輸出量も多いが、さらに

産業用機械器具や船舶、自動車のかなりの部分が輸出されており*、国内で供用される鋼材量は鋳鉄生産量の 65% 前後であろうと推定される。図 5-14 をみると、鋼材の種類別の割合では 86% が普通鋼圧延鋼材であり、それの用途別配分によっておのおのの用途への供給量がほとんど決定されているといえる。

指標物質である鉄鋼について、その生産過程での流れについて検討してきたが、都市で展開されている物質代謝を把握するためには、さらにいくつかの物質について生産過程での形態変化や流通

* 昭和 45 年度鋼材生産量(35工場) 935 万トンのうち 62.8% が輸出船であり、同じく四輪車 935 万台のうち 22.3% が輸出されている。一般機械生産額 5.37 兆に対して輸出額と輸入額の差は 6.4% に相当する。よって、産業用機械器具、船舶、自動車の輸出の総量は鋳鉄生産量の 6.5% に相当する。

表 5-16 紙、セメント、プラスチック、木材の用途別供給量

紙	生産量	セメント	生産量	プラスチック	生産量	木材	生産量
合 計	12,907 100 %	合 計	59,434 100 %	合 計	2,602 100 %	内 需 合 計	84,327 100 %
新聞巻取紙	1,951 15.1 %	鉄 道	238 0.4 %	農業用軟質フィルム	114 4.4 %	製 材 用	56,829 67.4 %
印刷用紙	2,177 16.9 %	電 力	475 0.8 %	包装用軟質フィルム	333 12.8 %	パルプ用	6,993 8.3 %
筆記図面用紙	114 0.9 %	セメント製品	1,775 15.1 %	その他軟質フィルム	161 6.2 %	合 板 用	10,522 12.5 %
クロフト紙	7.3 %	生コンクリート	31,322 52.7 %	硬質フィルム	67 2.6 %	坑 木 用	874 1.0 %
その他包装用紙	259 2.0 %	港 湾	357 0.6 %	シ ー ト	130 5.0 %	電 柱 用	414 0.5 %
各種紙、簿電紙	1,690 13.1 %	道路橋梁	951 1.6 %	板	134 5.1 %	くい刃太用	139 0.3 %
板 紙	5,778 44.8 %	その他の土木工事	2,734 4.6 %	合成皮革	139 5.3 %	足場刃太用	249 0.3 %
輸 入 量	71 -	建 築	4,101 6.9 %	バ イ プ	324 12.5 %	繊維板用	200 0.2 %
輸 出 量	504 -	住 家 用	119 0.2 %	雑 手	26 1.0 %	木材チップ用	7,002 8.3 %
		そ の 他	8,321 14.0 %	税関器具部品	249 9.6 %	そ の 他	976 1.2 %
		輸 入 量	- -	日用品、その他	218 8.8 %	輸 入 量	38,265 -
		輸 出 量	1,842 -	容 器	112 4.3 %	輸 出 量	- -
				建 材	207 8.0 %		
				発泡製品	20 3.5 %		
				強化製品	1.7 %		
				そ の 他	242 9.3 %		
				輸 入 量	- -		
				輸 出 量	- -		

建築用紙 — 31,058 (36.8%)
 新聞紙 — 2,057 (2.4%)
 印刷用紙 — 3,246 (3.8%)
 その他包装用紙 — 2,756 (3.3%)
 各種紙、簿電紙 — 395 (0.5%)
 板紙 — 1,888 (2.2%)

鉄道 — 171 (0.2%)
 電力 — 475 (0.8%)
 セメント製品 — 1,775 (3.0%)
 生コンクリート — 31,322 (52.7%)
 港湾 — 357 (0.6%)
 道路橋梁 — 951 (1.6%)
 その他の土木工事 — 2,734 (4.6%)
 建築 — 4,101 (6.9%)
 住家用 — 119 (0.2%)
 その他 — 8,321 (14.0%)

四つの指標物質の用途別の供給量を示したのが表5-16であり、木材については参考のために加工後の過程を簡単に添えている。これらの供用された物質は一定の期間は蓄積されて、潜在廃棄物環境を構成する。生産段階を潜在廃棄物環境のなかに組み入れると、供用中の有用物質が機能を減じて廃棄されると、廃棄物の発生型の型に加えて、短期間に生産活動によって発生する型を想定しなければならないことについてはすでに述べた。図5-20に示した資源の変換の前後で量が一致しないのは、在庫変動による以外に廃物の発生による減少が関係しているものと考えられ、表5-16の製材用木材の減りの割合は加工の段階で27%にもおよんでいる。潜在廃棄物環境としての蓄積量の動向を把握する上でも二つの型の廃棄を考慮することが望ましい。

図5-19と同様に、用途別に平均的な耐用年数を与えて供用後の経過年数ごとに廃用率を算定した結果を図5-22に示す。重ねあわせをおこなっている用途別の台形分布の寄与率が相互に接近している場合には、比較的になめらかな廃用率関数が得られるが、単一の用途の寄与率が卓越する場合にはその用途の廃用率が直接にあうられる。なお、セメントは生コンクリートとして利用する割合が急激に高くなっており、その廃用に対して想定したパターン（平均耐用年数50年）が支配的であるが、供用初期の廃用を設定していない。これに対して、木材の場合には仮設工事などで消耗される部分が6年前後に廃用され、さらに木材加工の際の廃材が2年以内に多量に発生している。

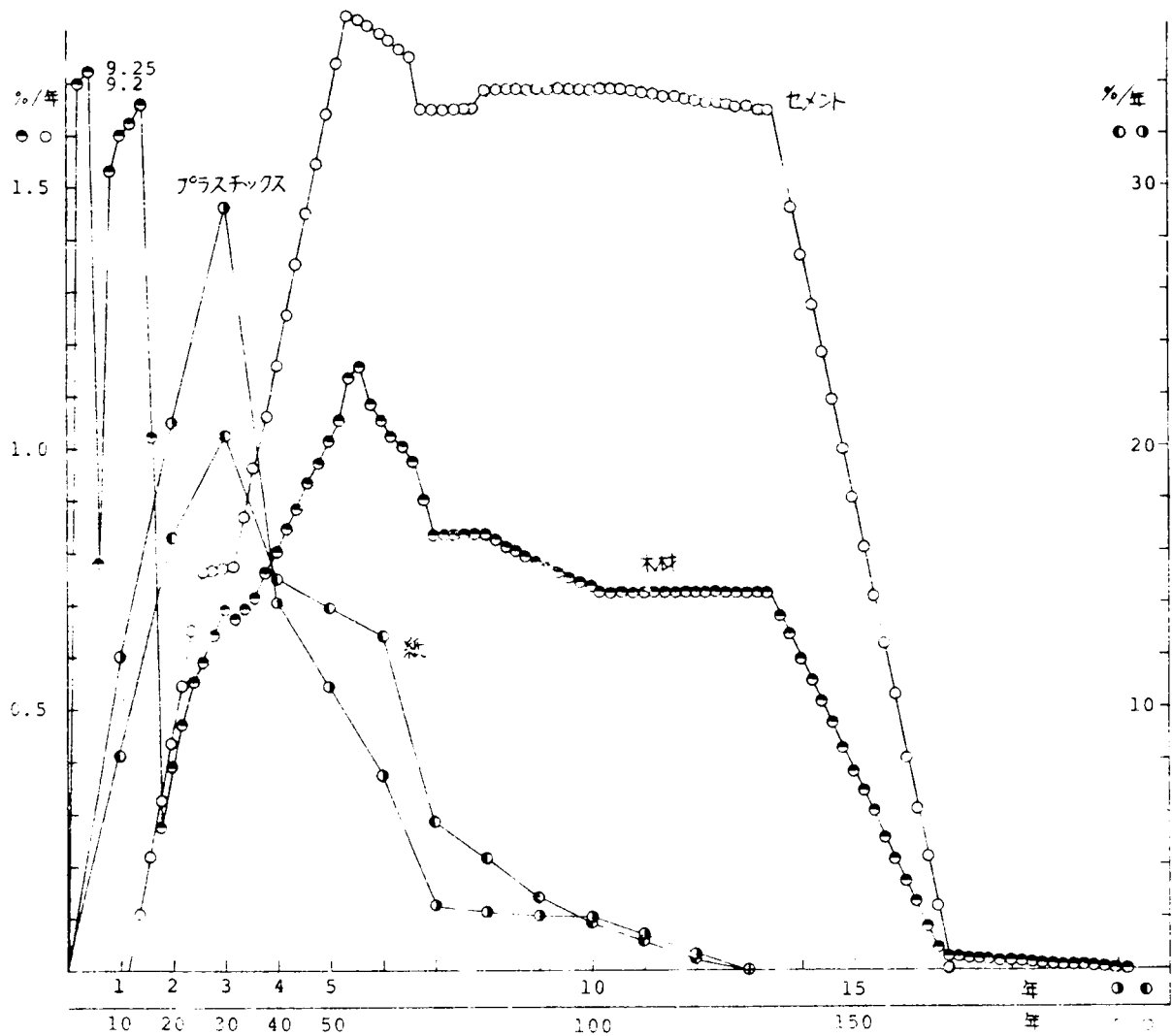


図5-7 木材、プラスチック、セメントの廃用率の経年変化

以上のような手続きを繰り返して、瞬間廃用率 $f(t)$ の分布が決定されると、生産量 $I(t)$ の経年ごとの値をもちいて、

$$O(t) = \int_0^t I(t-\tau) \cdot \frac{dP(\tau)}{d\tau} d\tau = \int_0^t I(t-\tau) \cdot f(\tau) d\tau \quad (5-3)'$$

で廃用量は計算される。また、蓄積量の変化も

$$R(t) = \int_0^t \{1 - P(\tau)\} \cdot I(t-\tau) d\tau = \int_0^t \left\{ \int_\tau^\infty f(\tau) d\tau \right\} \cdot I(t-\tau) d\tau \quad (5-8)'$$

で表現されることはいうまでもない。

すでに、建物に関しては建築時期別に、

$$O(t) = k(t) \cdot R(t) \quad (5-1)'$$

を用いて、代替係数 $k(t)$ の変化を予測することにより、滅失量（廃用量）を算定する例を示した。式(5-3)は供用開始量あるいは生産量が直接の制御対象である場合に、また、式(5-1)'は所有量、

現存量が直接の制御対象である場合に、予測式として有効であり、適切な選択を必要とする。

5-5-3 産業過程での投入産出分析

産業活動の相互の関係を表現する方法の一つとして、レオンチエフにより発展させられた投入産出分析⁽¹⁰⁰⁾がある。その基本的構造はひとつの産業の生産1単位に必要な他の産業の生産物の量を与えて、その値で構成される行列の逆行列を用いて、将来の産業規模の予測や産業間の関連を把握することにある。その方法は経済の計画化にして有効な手段を提供しており、手法的にはその後各種の改良がなされてきている。レオンチエフはさらに生産の際に発生する廃物を投入産出分析のなかに組み入れ、産業環境モデルを提案している⁽¹⁰¹⁾。これは、従来の産業相互間の行列要素に加えて、汚染因子の発生を金額表示の生産量あたりの原単位によって算定して小行列式で表現しており、最終需要に都市消費の概念を導入し、公害防除産業のアクティビティを独立変数として取扱っている。国もしくは地域の将来の産業構造との関連、環境をみる点において有意義ではあるが、金額による換算によって汚染に重要な関係をもつ技術レベルと原材料の質と量とが評価されていないのが欠点である。廃棄物の発生はその産業における物質・エネルギーの変換プロセスと投入物質・エネルギーによって支配されるのであって、経済的要因は市場経済の条件によってそれらのプロセスと投入量を変化させるところの間接的関係と有するものと考えなくてはならない。すでに、鉄鋼業のモデルプラントを対象として物質の流れとえがいて廃棄物量を算定している例⁽¹⁰²⁾もあり、個々の事業所における品質管理や廃物管理のためにバランスシートも今後は整備されるであろう。当面は資料の不足によって十分な議論ができないとしても、これらの生産単位の基礎的データを地域レベルに組みなおすべくして投入産出分析を位置づけることが重要である。

一般にシステムのインプットを $I(I_1, I_2, \dots, I_m)$ 、アウトプットを $O(O_1, O_2, \dots, O_n)$ とするとき、相互の転換を次のように表わすことは可能である。

$$(I_1, I_2, \dots, I_m) \begin{pmatrix} R_{1,1}, R_{1,2}, \dots, R_{1,n} \\ R_{2,1}, R_{2,2}, \dots, R_{2,n} \\ \vdots \\ R_{m,1}, R_{m,2}, \dots, R_{m,n} \end{pmatrix} = (O_1, O_2, \dots, O_n) \quad (5-40)$$

R_{ij} の転置行列 R_{ij}^T をもち、 I と O とを同じカテゴリーとして産業別生産高(金額)で表すと、産業活動の古典的な循環とあうわす産業連関表が導かれる。ここで、 I を投入資材、 O を生産製品ならびに廃物として算定すれば、ひとまず物質の流れの関係が表現されたといえる。加えて、 j の生産のための資源 l の投入量を $A_{l,j}$ として行列であうわすことにより、資源、製品ならびに廃物の連関表の初歩的形態を図 5-24 のように示すことができる。ただし、

$$\left. \begin{aligned} X_l &= A_{l,1} \cdot Y_1 + A_{l,2} \cdot Y_2 + \dots + A_{l,j'} \cdot Y_{j'} + X_{l,0} \\ &\quad (l = 1, 2, \dots, j') \\ Y_i &= B_{i,1} \cdot Y_1 + B_{i,2} \cdot Y_2 + \dots + B_{i,j'} \cdot Y_{j'} + Y_{i,0} \\ &\quad (i = 1, 2, \dots, i') \end{aligned} \right\} \quad (5-41)$$

$$Y_i = C_{i,1} \cdot Z_1 + C_{i,2} \cdot Z_2 + \cdots + C_{i,k'} \cdot Z_{k'} + Y_{i,0} \quad (k = 1, 2, \dots, k')$$

であり、 $X_{i,0}$ 、 $Y_{i,0}$ はそれぞれ、投入された資源、資材のうちで対象としている生産過程に関与しない部分の意味する。鉄の流れに関する検討においてもかいたように、生産過程は資源を一次加工する段階とそれに続く二次加工の段階とがあるが、後者の段階での流れの追跡はきわめて困難であり、廃物と生産物と対等の生成物としてとりあつかうにも相当の調査を必要とする。

図 5-24 ではひとまず、資源と資材を入力とし、資材と廃物を出力とする系としてのマクロな表をおこなって、まず、資源と資材を交換

図 5-24 資源、製品ならびに廃物の連関表

産 出 投 入		生 産 材	消 費 材	廃 物
		Y_1, \dots, Y_j	\dots, Y_j	$Z_1, \dots, Z_{k'}$
資 源	λ_1	$\lambda_{i,j} = A_{i,j} \cdot Y_j$		
	$\lambda_{k'}$			
生 産 材	Y_1	$\lambda_{i,j} = B_{i,j} \cdot Y_j$		$Y_{i,k'} = C_{i,k'} \cdot Z_{k'}$
	$Y_{k'}$			
消 費 材	\vdots			
	$Y_{k'}$			

マトリックス $A_{i,j}$ 、 $B_{i,j}$ 、 $C_{i,k}$ は都市の入力と出力に対して同時に適用される変換マトリックス $R_{i,j}$ の小行列に若干の操作をおこなったものであるといえる。もし、 Y_j を産業分類で表示すると、従来の産業連関表からマトリックス $B_{i,j}$ が金額表示で定まり、産業廃棄物発生量をもとめる実態調査から得られる産業分類ごとの廃物発生原単位を用いて $C_{i,k}$ も定まるであろう。すでに、このように視点から産業連関分析をおこなっている研究例⁽¹⁰⁾もあり、国内でも産業構造と廃棄物発生特性を結びつける試み^{(10),(11)}がさなれつつある。しかし、再び強調するが、産業形態の進化、とりわけ「生産部門」と「消費部門」の間の地域的分業によって生産額が減少する傾向にヒトと遊離する傾向を考慮すると、物質・エネルギーの流れに則した表現を展開する必要性が大きいであろう。表現こそ違わが、物質・エネルギーの地域的循環での流れ⁽¹²⁾と産業を中心としたバランスシート⁽¹³⁾の検討の必要性、しかも金銭単位を表に出さず、物質・エネルギーの変換・循環への関心という面から生産・消費をとらえること⁽¹⁴⁾の必要性は他の分野からも論じられている。

ここでは、生産過程での廃物の発生を投入資材量との関連で検討する試みを通じて、生産過程での代謝を明らかにする上での投入産出分析の方向について基礎的考察を進めることとする。物質・エネルギーとして Y_i を分類する際には、まずはそれぞれの種類がもつ範囲と独自性に留意しなければならない。廃物の発生に関しても、プロセスの原料として投入された同じ鉄に対して、地域レベルでは産業の差異を無視し、総括的で抽象的な産業構造に基づいて反応を強いることになるので、指標物質系—指標廃棄物系の選択は廃物発生マトリックスの良否を大きく左右する。一方、廃棄物の発生量の調査は各事業所に対する質問紙調査の形をとることが多く、調査の技術的な面からの制

約がある。ここで検討の対象とする質問紙調査は兵庫県が1971に製造業を対象に実施したもので、主たる質問内容は原材料の投入量と廃物の発生量ならびにその処理の実態についてである。神戸市内からの回答のうちで原材料に関する記入があるもの(約200)から必要な諸値を得た。質問が多岐にわたっていたために原材料の記入が十分に注意深くおこなわれていたとはいえず、主たる原材料よりも廃物の方が多いという回答もみられた。

原材料と廃物は表 5-17 に示す分類によって集計することとし、まず、廃物の発生量 O_k と原材料 I_i との比の値をもとめたところ、 O_k/I_i の単純平均値が I_i の過少評価(記入ミスを含む。)によって理解しがたい大きな値をとる組がいくつかみられた。これは I_i よりも O_k の方に重点を配した記入項目によっているためである。そこで、 I_i/O_k の比の値の平均値をもとめてから、その逆数を要素とする行列によって投入・産出の関係をあらわすこととする。たとえば、鉄を原料として投入し、鉄クズを廃物(他の金属廃物でもよい。)として発生しているという回答のみをとりだし、 I_i/O_k の平均値をもとめて、その逆数を行列の (i, k) 要素の値とする。結果を示したのが表 5-18 であるが、これらの値は回答上の複数の原材料に対して二重に係数を評価することによって過大なものとなっており、修正が必要とする。

表 5-17 原材料と廃物の分類

	原 材 料		廃 物
1	鉄	1	紙
2	鉄金属	2	木
3	ゴム	3	繊維
4	紙・ペーパー	4	わら
5	食料品	5	植物性残渣
6	木材	6	動物性残渣
7	セメント	7	合成樹脂
8	砂	8	溶剤・ペイント
9	砂利・石	9	廃油
10	銅・鐵組	10	廃酸
11	無機性物質	11	廃アルカリ
12	有機性物質	12	スラッジ
13	合成樹脂	13	金 属
14	石 油	14	ガラス
15	石 炭	15	スラック
16	ガラス	16	灰
17	皮革	17	石炭ダンプ
18	土	18	ガラスキ
19		19	土 砂
20	そ の 他	20	雑ゴミ・その他

いま、かりに二つの原料から二つの廃物が生みだされるとすれば、そのような値の組を二通り得ることによって投入産出の関係を示すマトリックス $C_{i,k}$ は決定される。地域レベルの値として、表 5-17 に示す 20×20 個の要素をもつマトリックス $C_{i,k}$ を決定するためには、多数(20)の独立の値の組が必要であり、この値の組の入手はかなり困難である。そこで上述の方法を採用したが、複数の原材料投入 $I_t, I_{t'}$ に対して廃物発生量 O_k を正しく配分して、 O_k が原材料 t, t' のそれぞれの投入にもとづくものである $O_{t,k}, O_{t',k}$ の和として、

$$O_k = O_{t,k} + O_{t',k} = C_{t,k}^t \cdot I_t + C_{t',k}^{t'} \cdot I_{t'} \quad (5-42)$$

のように表現される必要がある。いま、問題を簡単にするために $i = 1, 2, 3$ 以外の原材料について

表5-18 廃物発生マトリックス (I)

原料 廃物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	3.1 10 ⁻³	1.2 10 ⁻¹	1.0 10 ⁻¹	8.3 10 ⁻²	1.8 10 ⁻²	1.8 10 ⁻¹	1.3 10 ⁰	1.5 10 ¹	5. 10 ¹	1.6 10 ⁰	5.9 10 ⁻¹	1.3 10 ⁻²	3.7 10 ⁰	1.5 10 ⁰	0.	7.5 10 ⁰	0.	0.		
2	2.7 10 ⁻²	1. 10 ⁻¹	4.4 10 ²	0.	4.1 10 ⁻²	3.5 10 ⁻¹	0.	1.7 10 ¹	0.	1.2 10 ¹	5.7 10 ¹	4.2 10 ⁻³	5.0 10 ¹	0.	0.	2.0 10 ⁰	0.	0.		
3	3.7 10 ⁻³	1.8 10 ⁻¹	1.4 10 ³	9.8 10 ⁻¹	2.5 10 ⁻²	0.	0.	0.	0.	2.2 10 ⁰	1.2 10 ⁻¹	6.7 10 ⁻²	1.4 10 ¹	1. 10 ⁰	0.	5.0 10 ²	2.2 10 ¹	0.		
4	4.1 10 ⁻¹	5.7 10 ¹	8.4 10 ¹	0.	1.5 10 ⁻¹	0.	1.6 10 ⁰	1.5 10 ¹	3.3 10 ¹	4.4 10 ⁰	3.3 10 ¹	8.7 10 ⁻²	5.6 10 ¹	2.4 10 ⁰	0.	5.0 10 ¹	0.	0.		
5	0.	0.	0.	0.	1.5 10 ⁻²	0.	0.	0.	0.	0.	0.	6.3 10 ⁰	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
6	6.7 10 ¹	3.6 10 ¹	0.	0.	9.2 10 ⁰	3.3 10 ¹	0.	0.	0.	3.6 10 ¹	1.7 10 ²	0.	1.0 10 ⁰	0.	0.	0.	6.0 10 ⁻¹	0.		
7	1.3 10 ⁻³	2.1 10 ¹	5.6 10 ⁻¹	1.5 10 ⁻²	8.4 10 ⁻²	4.5 10 ¹	1.2 10 ⁰	0.	6.7 10 ⁻¹	8.8 10 ⁻¹	1.4 10 ⁻¹	3.0 10 ⁰	1.3 10 ⁰	2.4 10 ¹	0.	2.5 10 ²	5.6 10 ¹	0.		
8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.4 10 ²	0.	5.5 10 ²	0.	0.	0.	0.		
9	1.5 10 ⁻²	1.6 10 ⁰	4.9 10 ⁰	1.2 10 ⁻¹	9.4 10 ⁻³	5.4 10 ¹	1.4 10 ⁰	0.	7.7 10 ⁰	7.7 10 ⁰	5.3 10 ⁻¹	3.8 10 ⁻¹	0.	1.4 10 ⁰	0.	0.	0.	0.		
10	2.3 10 ⁻³	7.3 10 ¹	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
11	2.6 10 ⁻¹	0.	7.3 10 ¹	0.	2.1 10 ²	0.	0.	0.	0.	1.5 10 ⁰	0.	3.9 10 ⁻¹	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
12	3.6 10 ⁻³	1.5 10 ¹	8.3 10 ⁰	8.9 10 ⁰	8.5 10 ⁻³	2.1 10 ¹	0.	8.6 10 ⁰	4.6 10 ⁻¹	7.5 10 ¹	1.7 10 ¹	3.1 10 ¹	8.3 10 ¹	3.0 10 ²	4.6 10 ³	9.3 10 ⁰	0.	0.		
13	4.3 10 ⁻³	3.1 10 ⁻¹	9.7 10 ⁰	7.8 10 ⁰	1.0 10 ⁻²	7.6 10 ⁻¹	1.0 10 ⁰	4.7 10 ¹	1.4 10 ¹	1.0 10 ⁰	1.0 10 ¹	1.0 10 ¹	5.0 10 ¹	1.1 10 ¹	0.	0.	0.	0.		
14	1.2 10 ⁻¹	7.0 10 ²	0.	1.4 10 ²	2.1 10 ⁻¹	3.5 10 ¹	3.0 10 ¹	0.	1.7 10 ¹	0.	0.	7.9 10 ¹	0.	0.	0.	5.9 10 ¹	0.	0.		
15	1.3 10 ⁻³	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3.3 10 ²	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
16	1.2 10 ⁻¹	8.6 10 ¹	0.	0.	9.9 10 ⁻¹	1.2 10 ¹	2.4 10 ¹	0.	0.	3.0 10 ³	0.	0.	3.0 10 ³	0.	0.	0.	0.	0.		
17	7.9 10 ⁻³	6.1 10 ⁻²	4.1 10 ²	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.1 10 ²	0.	2.1 10 ⁻²	0.	1.1 10 ⁻²	0.	0.	0.	0.		
18	2.0 10 ⁻¹	1.8 10 ¹	1.8 10 ¹	0.	9.9 10 ⁰	6.1 10 ⁰	2.4 10 ³	2.6 10 ¹	4.0 10 ¹	1.7 10 ²	3.6 10 ²	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
19	3.2 10 ⁻³	6.1 10 ⁻²	0.	0.	1.0 10 ³	3.5 10 ²	8.2 10 ⁰	1.9 10 ¹	2.4 10 ³	4.7 10 ⁻¹	7.1 10 ⁰	1. 10 ⁰	10 ⁰	10 ⁰	10 ⁰	10 ⁰	0.	0.		
20	4.4 10 ⁻³	1.7 10 ⁻¹	8.3 10 ⁰	1.9 10 ⁰	3.0 10 ⁻¹	2.1 10 ⁰	0.	1.0 10 ¹	2.4 10 ¹	1.1 10 ¹	4.2 10 ⁻³	1.4 10 ¹	1.0 10 ¹	0.	2.1 10 ²	0.	0.			

注) 神戸地域製造業についての投入産出関係を示す。I_k/O_kの平均値の逆数として算出したものである。

*印はサンプルが少なく、信頼性が低い。

の記入の回答を一つとりだす。その回答の事業所の活動が無いときと有るときの廃物発生量の差は、種類kの廃物量 O_kについて、次のようにあらわされるであろう。

$$\begin{aligned}
 & f_k(I_1^* + \Delta I_1^*, I_2^* + \Delta I_2^*, I_3^* + \Delta I_3^*, \dots) - f_k(I_1^*, I_2^*, I_3^*, \dots) \\
 &= \frac{\partial f_k}{\partial I_1^*} \Delta I_1^* + \frac{\partial f_k}{\partial I_2^*} \Delta I_2^* + \frac{\partial f_k}{\partial I_3^*} \Delta I_3^* + \sum_{i \neq 1,2,3} \frac{\partial f_k}{\partial I_i^*} \Delta I_i^* \quad (5-43)
 \end{aligned}$$

$$O_k = f_k(I_1^*, I_2^*, \dots, I_i^*, \dots) \quad (5-44)$$

回答が投入産出をあきらかにする情報として加わるものと考え、一枚の質問紙に記入された廃物量 O_i 、原材料投入量 I_1, I_2, I_3 は式(5-43)のそれぞれ、左辺、 $\Delta I_1^*, \Delta I_2^*, \Delta I_3^*$ と考えることができる。そこで、従来の投入産出関係に加えて新たな活動がおこなわれる場合も含めて、将来の変化量に対する予測をおこないうる廃物発生マトリックスとするには、 $\partial f_k / \partial I_i^*$ を行列要素とすることが妥当である。^{*}しかし、 $\partial f_k / \partial I_i^*$ の値を直接に知ることは困難なので、全回答を合計して得られた $\sum I_t$ に対する、廃棄物 k の発生に關与した原材料 t の投入量の合計 $\sum_{t=1}^p I_t$ の値を用いて計算を進める。すなわち、

$$\frac{\partial f_k}{\partial I_p^*} = \frac{\sum_{t=1}^p I_t / \sum I_t \cdot O_i}{\sum_{t=1}^p (\sum_{k=1}^n I_t / \sum I_t)} \cdot \frac{O_i}{I_p} \quad (p = 1, 2, 3) \quad (5-45)$$

を代用指標としていることになるが、このことは、複数の種類の原材料投入に対して、投入が廃物の発生をもたらす程度に従って廃物量を割りつけてから原単位をもとめることを意味する。

式(5-45)の右辺の平均値を、おのおのの原材料と廃物の組について算定した例を表 5-19 に示す。質問紙の回答上の困難さから投入原材料はシンプルな資材・品目にかぎられているが、とりあげた 20 種の資材のいずれが投入されても廃棄物として発生する確率が高いのは、金属くずと紙くずである。金属くずの大部分をしめる鉄と紙は産業活動にともなって普遍的に廃物化するものと考えることが可能で、潜在廃棄物環境を解析する上での重要な指標物質であることをあらためて印象づける。

産業種類を無視しているので、表 5-19 のような投入産出表は地域ごとに作成する必要があり、このことは従来の産業連関表の場合と同様である。投入資材と発生廃物が同一種類の物質であるような行列の要素（廃物化係数）を検討すると、鉄 (1.6×10^{-3})、紙 (5.5×10^{-3})、合成樹脂 (1.3×10^{-1})、木材 (3.4×10^{-2})、砂 (7.8×10^{-1}) などとなっており、 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ の範囲に分布している。これらの値は、生産過程での加工からみて、物質の種類ごとに一定の範囲があるものと考えられるが、その判定にはいまだこし整備されたデータの解析を必要とするであろう。

表 5-19 廃物発生マトリックス(Ⅱ)

原料 廃物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1.4 10^{-3}	1.4 10^{-1}	8.5 10^{-3}	5.5 10^{-3}	1.8 10^{-3}	1.8 10^{-3}	4.6 10^{-4}	2.3 10^{-2}	5.0 10^{-3}	4.8 10^{-2}	1.3 10^{-2}	1.4 10^{-3}	3.4 10^{-1}	3.8 10^{-2}	0.	6.2 10^{-2}	0.	0.	0.	0.
2	1.2 10^{-4}	1.3 10^{-1}	4.4 10^{-3}	0.	3.9 10^{-3}	3.4 10^{-2}	0.	7.2 10^{-1}	0.	3.2 10^{-2}	7.6 10^{-3}	4.2 10^{-4}	4.6 10^{-3}	0.	0.	1.5 10^{-2}	0.	0.	0.	0.
3	2.0 10^{-5}	1.5 10^{-2}	1.3 10^{-3}	3.2 10^{-1}	2.2 10^{-3}	0.	0.	0.	0.	1.3 10^{-1}	8.4 10^{-3}	6.2 10^{-4}	1.4 10^{-3}	2.9 10^{-1}	0.	5.0 10^{-1}	2.3 10^{-3}	0.	0.	0.
4	9.0 10^{-4}	2.5 10^{-1}	2.4 10^{-3}	0.	1.3 10^{-2}	0.	1.9 10^{-2}	1.2 10^{-2}	4.2 10^{-3}	7.1 10^{-2}	3.0 10^{-3}	6.4 10^{-3}	5.5 10^{-3}	1.7 10^{-1}	0.	2.9 10^{-1}	0.	0.	0.	0.
5	0.	0.	0.	0.	1.3 10^{-3}	0.	0.	0.	0.	0.	0.	6.5 10^{-3}	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6	1.9 10^{-4}	3.6 10^{-1}	0.	0.	8.3 10^{-1}	5.3 10^{-4}	0.	0.	0.	1.5 10^{-3}	4.0 10^{-3}	0.	9.2 10^{-1}	0.	0.	0.	0.6 10^{-2}	0.	0.	0.
7	1.1 10^{-5}	2.5 10^{-2}	5.5 10^{-4}	0.	7.6 10^{-3}	0.	0.	0.	1.7 10^{-1}	3.8 10^{-2}	4.2 10^{-3}	1.9 10^{-3}	1.3 10^{-1}	1.2 10^{-1}	0.	2.5 10^{-1}	5.3 10^{-3}	0.	0.	0.
8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.3 10^{-1}	0.	5.5 10^{-1}	0.	0.	0.	0.	0.	0.
9	1.4 10^{-3}	3.0 10^{-2}	2.0 10^{-2}	1.2 10^{-2}	8.8 10^{-4}	0.	0.	0.	0.	5.4 10^{-2}	5.1 10^{-2}	2.1 10^{-3}	0.	3.3 10^{-2}	0.	0.	0.	0.	0.	0.
10	1.0 10^{-1}	3.5 10^{-3}	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
11	2.6 10^{-2}	0.	3.5 10^{-3}	0.	2.1 10^{-1}	0.	0.	0.	0.	1.2 10^{-1}	0.	3.3 10^{-3}	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
12	6.0 10^{-4}	8.1 10^{-3}	1.6 10^{-2}	3.3 10^{-3}	7.7 10^{-4}	2.7 10^{-2}	2.3 10^{-1}	6.9 10^{-1}	6.3 10^{-1}	6.1 10^{-1}	1.8 10^{-1}	1.4 10^{-1}	6.9 10^{-1}	2.9 10^{-1}	7.7 10^{-1}	5.8 10^{-1}	0.	0.	0.	0.
13	1.6 10^{-3}	1.4 10^{-2}	5.8 10^{-4}	2.3 10^{-3}	7.8 10^{-3}	4.5 10^{-2}	1.0 10^{-2}	1.7 10^{-4}	0.	4.7 10^{-1}	1.2 10^{-2}	5.6 10^{-4}	2.7 10^{-1}	1.1 10^{-1}	0.	0.	0.	0.	0.	0.
14	3.6 10^{-3}	2.1 10^{-1}	0.	1.2 10^{-1}	2.1 10^{-2}	2.0 10^{-2}	0.	0.	0.	0.	0.	2.0 10^{-2}	0.	0.	0.	5.0 10^{-1}	0.	0.	0.	0.
15	5.2 10^{-4}	1.1 10^{-1}	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.0 10^{-2}	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
16	1.1 10^{-2}	6.7 10^{-1}	0.	0.	9.9 10^{-2}	1.2 10^{-1}	2.7 10^{-1}	0.	0.	6.9 10^{-1}	0.	0.	9.2 10^{-1}	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
17	2.4 10^{-6}	3.1 10^{-3}	8.9 10^{-3}	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.7 10^{-1}	0.	2.1 10^{-3}	0.	9.4 10^{-1}	0.	0.	0.	0.	0.	0.
18	4.7 10^{-3}	3. 10^{-1}	1.2 10^{-3}	0.	1.6 10^{-2}	2.9 10^{-1}	5.2 10^{-1}	1.3 10^{-1}	8.9 10^{-1}	1.6 10^{-1}	3.6 10^{-1}	0.	0.	0.	1.4 10^{-1}	0.	0.	0.	0.	0.
19	8.9 10^{-3}	3.7 10^{-3}	0.	0.	3.6 10^{-2}	1.0 10^{-2}	3.0 10^{-1}	7.8 10^{-1}	9.6 10^{-1}	3.1 10^{-2}	4.4 10^{-2}	3.0 10^{-3}	1.2 10^{-1}	4.8 10^{-2}	2.4 10^{-1}	0.	0.	0.	0.	0.
20	9.4 10^{-4}	2.8 10^{-3}	1.3 10^{-3}	3.5 10^{-3}	3.5 10^{-2}	7.9 10^{-3}	0.	0.	5.6 10^{-4}	2.2 10^{-1}	1.4 10^{-3}	4.2 10^{-4}	7.2 10^{-1}	5.8 10^{-1}	0.	1.6 10^{-1}	0.	0.	0.	0.

注) 神戸市域製造業についての投入産出係を示す。理論的には式(5-45)の右辺の平均値として算定するのが望ましいが、表5-18のマトリックス(I)と同様の事情があるので、右辺の逆数の平均値の逆数として算出したものである。

*印はサンプルが少なく、信頼性が低い。投入原料の種類は行の数字で、発生廃物の種類は列の数字で示している。

5-6 質問紙調査の課題

5-6-1 環境調査としての質問紙調査の課題

本章において示した質問紙調査の実施例、すなわち、家庭を対象とした二回の調査と製造業を営む事業所を対象とした二回の調査は、いずれも廃棄物の発生量を推定するという目的に付随しておこなわれたものである。潜在廃棄物環境の視点からすれば、たとえば同じ財の廃物化の速度が異なる理由といった構造的な面が注目されるが、全体の発生量をひととおり算定するという主旨のために質問紙のスペースがほとんど用いられ、独自の質問項目が十分には設定されなかった。

本論文の取扱った範囲内で、指標物質である耐久消費材の家庭内での代謝の構造は次の面でほぼ把握されたといえる。すなわち、効用空間ならびに無効用空間の占有と離脱の量と速度、ならびにそれらの代謝をもたらす動機はあきらかにされた。しかし、潜在廃棄物の顕在化への過程でそれらが与える効果の評価に関しては、質問項目がないために実証的な考察を展開するにはいたっていない。家庭に対する質問紙調査に関して今後に残された課題の第一はこの点であって、潜在廃棄物が顕在化する過程で環境に与える効果の共通的要素を抽出することが大切であろう。完全廃棄物となった段階においても、生活系の代謝生成物であるがゆえに、潜在廃棄物環境のなかで比較的融和的な傾向をもち、環境に与える効果は物理的な数値にあらわれるよりも、それに対する微妙な心理面にみいだされる。被験者の意識、あるいはそのあらわれとしての行動に注目して、潜在廃棄物環境の評価をおこなう第一歩としては、次のような内容に関する項目を質問紙に含むことが考えられる。

耐久消費材の廃用の理由については 5-4-2 で述べたが、これと関連させて廃物化ないし老朽化の程度を何を基準として意識しているかという点を問う項目が有意義である。さらに、供用から廃用までの期間に対して供用開始後の経過時間のしめる割合とどう判断された老朽化の程度（できれば数量的取扱いが好ましい。）との関係を明らかにしたい。この結果については、耐久消費材に特殊な評価のパターンと潜在廃棄物の指標物質として他の物質にも共通しうる一般的な評価のパターンとを分離することを是非おこなわなければならない。

代謝の結果として生れた完全廃棄物が廃用後の滞留時に与える効果は、別途に検討するだけの意味をもっている。本論文では滞留の理由を問うてはいるにとどまっているが、それらの理由ごとに完全廃棄物にどのような評価を与えているのかを考察することが大切である。この場合、ある種の事態が生じたと仮定した場合の行動として、たとえば再利用するとか、逆に廃棄するとかの具体的行動として評価が顕在化することになることに留意すべきで、このような反応をも含めた高度な質問紙調査が有効であると考えらる。

家庭での物質代謝の概要については 5-4-1 で述べたが、その全面的な代謝について質問紙調査を実施する必要性はないとしても、事実上は耐久消費材ならびに建物指標とした調査しか実施していないので、少なくともあとこ、三種の指標物質をえらんでその代謝の実証的把握を試みる必要が

ある。その候補についてはのちに(表5-21)示すが、重要なことは、耐久消費材が家庭では長期の貯留期間をもつ指標物質として認識されていることに対応して、その物質が代謝のパターンの何を表しているのかを明確にすることであり、以上に述べた課題をも考慮して検討をおこなうことにより新たな知見が得られると考える。

5-4-2で述べた耐久消費材に関する調査と平行して実施された家庭ゴミの発生量調査は、被験者(家庭の主婦)みずからが分類し、計量したものであり、詳しい発生量が把握できるだけでなく、食料品などの短期間の物質代謝を垣間見ることができる。さらに、購入量と対応させて廃用量を知ることの意義は大きい。本格的には家計簿式に購入、廃用(または廃棄)を記入する調査を実施することが望ましいが、被験者に相当の負担を与えることになるので、特殊な条件下(たとえば前述の実験都市)でしかおこない得ない面がある。

第二次産業での物質代謝に関する質問紙調査はさらに初歩的な段階にとどまっている。質問紙調査に独自に組み込まれた内容は、資材ならびに廃棄物の貯留量ならびにその貯留時間に関するものと、投入資材の種類と量に関するものである。後者については投入産出分析をおこない、前者については野積量の算定とともに廃棄物の処理処分過程として貯留を評価することを試みた。しかし、いずれも産業廃棄物実態調査の一部として実施された質問項目の回答を集計した結果にもとづいているので、代謝の一部の断面の量であらわれたにすぎない。

原材料投入量と廃棄物発生量ならびに原材料と廃棄物の貯留量に関する質問においては、任意の種類の名称で記入する方式は全体的概略を把握することには有利であるが、代謝方向にそった変化の特徴を検討するにはいくつかの指標物質もしくは指標物質系に限定し、質問の重点を原材料投入と廃棄物発生に接続する場所的流動の方向や貯留の理由などの機構的な面に絞ることが望ましい。もともと、原材料、産物の量を含めたバランスシートの作成は環境問題、資源のみではなく経済計画にとっても重要であり、国の指定統計である工業統計調査にこれらを組み入れ、しかも物量ベースで値を算定することを早急におこなわねばならない。

5-6-2 質問紙調査により把握された環境の構造に関する課題

家庭を対象とした質問紙調査は主として耐久消費材を指標にしておこなわれ、効用空間と無効用空間での貯留、流出入について検討がなされ、この二段階モデルは5-3-3で述べた重合体モデルの一部分を構成しており、他の物質の供用から処理処分にいたる過程にも同様の構造があるものと考えられる。本論文では、廃用の動機、供用期間、無効用占有期間、貯留理由、処分方法という5つの点からみた実態があきらかにされたが、重要なことは、大型の電気製品の多くが(部分的機能の停止—広範囲廃用型—短期排出型—貯留理由分散型*—業者下取り)というパターンを示すように、耐久消費材がいくつかのグループに分類されたことである。このことは、処理処分にいたる代謝過

* 質問紙の回答では、一つの理由に集中していない。

程の各段階が密接にむすびついていることを意味し、他の指標物質に関する今後の解析にあたっても十分に留意しておく必要があるであろう。

消費材として供用される以前を生産過程として別途に取扱う方向はすでに5-5で示されているとしても、家庭空間から排出後の廃物の挙動を、図5-2や表5-4に示したような、蓄積と流動の交互のくりかえし過程として解析することは今後の課題として残されている。しかも、本論文の範囲では二つの空間へのフローとストックを大部分は静的にとらえたにすぎず、たとえば、無効用空間の占有量 R_2 の時間的変化を言及するところまでいたっていない。着在廃棄物環境の質的な面は R_2 そのものの量に加えて dR_2/dt の量が大きく関与しているものと考えられ、 dR/dt に対応してその動向が把握されることが必要であろう。

生産段階での貯留には、資材、製品ならびに廃物のストックが考えられる。質問紙調査[V]では、いくつかの事業所について資材が事業所に持ち込まれてから廃物となるまでの期間と、廃物となって以後、事業所外に搬出されるまでの期間について設問したが、質問の意図が十分に伝わらず、記入がかなり難しいために十分に満足しうるデータを得られなかった。そのうち、野積量については、対象地域（富山県下）の特殊性を考慮して別の設問としたので、ほぼ実態があきらかとなっており、7-3で述べる。上述の二つの期間についての回答の集計結果を示したのが表5-20である。廃物化

表 5-20 資材ならびに廃棄物の工場内での滞留時間

(富山県, 1971)

産業 廃棄物	食品	繊維	衣服	木材	家具	紙 パルプ	出版	化学	石炭 石油	ゴム	窯業	鉄鋼	非鉄	金属	機械	電気 機械	輸送 機械	精密 機械	その他	備考
紙くず	0.43 0.42	0.47 0.34	0.23 0.37			2.05 0.30	0.20 0.75	0.04 -		0.38 0.09	0.22 0.22	0.43 0.12	0.26 1*0	0.20 0.04	0.23 0.12	0.66 0.70	0.50 0.05	0.1* 0.71	0.65 0.31	
木くず	0.15 0.16	0.5 0.1		0.01 0.00		1.49 0.06				0.5 0.71	0.11 0.03	0.23 0.87	0.22 0.00	1.0 0.13	0.30 0.13	-	0.49 0.71	0.1 0.71	1.5 0.71	
繊維くず	0.17 0.03	0.51 0.21	0.23 0.33		1.0 0.5	1.41 1.15	0.25 1*0			0.5 0.71	0.33 0.23	0.10 0.27	0.25 1*0	0.14 0.11	0.04 0.13	0.5 0.03	0.5 0.08		0.84 0.31	
わらくず	0.16 0.04	1.00 0.07	1.0 1*0			2.75 0.75				0.5 0.00	3.0 1*0	1.0 1*0	0.25 1*0				0.5 0.71			
造物残屑		0.03 0.03		*		1.0 0.0		3.14 0.26							0.1 0.71					
製材残屑	0.54 0.07							1.0 0.03												
合板くず	0.33 0.28	0.60 1.76	0.71 0.71	1.77 1*0		1.46 1.27		0.04 0.03		0.5 0.71		0.23 0.07		0.19 0.19	0.51 0.12	0.45 0.53	0.51 0.71		0.55 0.49	
タービナ種	n						1.0 0.86													
廃油	0.80 0.80	0.74 0.34				1.0 0.80	0.55 0.55	0.04 0.07		0.3 0.71	1.0 1*0	0.22 0.23	1.0 0.5	0.83 0.89	0.41 0.39	0.52 0.19		0.5 0.71	1.34 0.77	
廃酸						0.25 0.19		0.54 1.04				0.03 0.03		0.83 0.27	1.15 0.64				1.0 0.00	
廃アルカリ	1.0 0.16					0.43 1.69		0.05 0.60				0.23 0.71		5.41 0.97	0.09 0.12				6.0 1*0	
スラッジ	1.0 1*0				0.5 0.17	1.06 0.14		0.72 0.17			0.18 1.11	0.07 0.48	0.76 0.76		1.28 1.26	0.25 0.00			0.85 22.4	
金属くず	0.65 0.74	0.86 0.87		1.0 1*0	2.0 1.0	1.71 1.54	1.0 1*0	6.47 1.68		0.5 1*0	4.02 0.47	0.14 0.07	1.98 -	0.49 2.63	0.43 0.29	0.27 0.39	0.78 0.79	0.5 0.71	0.95 1.00	
ガラスくず	0.09 0.81			1.0 1*0		1.0 1*0	3.43 1*0	0.99			0.65 0.33	1.0 1.0			0.1 0.71	1.0 1*0				
スラック				0.12 0.65		1.0 1*0		0.02 0.05			2.0 0.03	0.99 0.62	14.9 22.8	1.96 1.96	1.42 1.07		0.5 0.71		0.55 0.17	
灰	1.0 1*0	0.07 1*0				1.0 0.06		0.41 0.17		0.2 1*0		0.04 0.04							0.00 0.00	
石炭ガラ		0.03 0.03						1.0 1*0											0.00 0.00	
がれき	0.5 0.5			1.0 1*0		0.5 0.51		0.50 0.49			16.1 2.65	0.82 0.34			9.0 6.0		0.5 0.71			
土砂						1.58 0.83	1.0 1*0	0.13 0.08		0.47 2.61	0.96 0.65	0.32 0.31	0.07 0.52	1.0 1*0	0.27 0.26		0.5 0.71	0.1 0.71	1.0 1*0	
雑ゴミ	0.17 0.67	0.79 0.74	0.93 0.13	0.1 0.71		0.12 0.11		0.15 0.07			0.09 0.01	0.93 0.19	0.25 1*0	0.64 0.61	0.73 0.24	0.48 0.48			0.43 0.59	
その他								0.82 2.16		0.3 0.715										

注) 上段の値は資材として工場に搬入されてから廃棄物となるまでの、下段の値は廃棄物となってから搬出されるまでの工場内滞留時間である。
*印はサンプル数が不足である。

単位 日

したものの滞留時間の長いものとしては、非鉄金属工業からのスラックや「その他」の産業（化学工業や金属製品工業の一部が分類されている。）よりのスラッジなどがある。産業別の差異よりも廃棄物の種類別の差異の方が顕著であるが、家庭での無効用占有よりも複雑な生産段階での貯留を解明するためには、比較検討を可能にする複数のデータの組が必要であろう。

貯留量の多少は産業の種類によっても異なるが、同じ生産プロセスの同種類の事業所について貯留量を左右する大きな因子は、空間的余裕度あるいは空間密度ともいうべき性格の因子であろう。家庭における耐久消費材の無効用占有期間が物置や倉庫の有無によって大きく左右されることが実証された（表5-12）ように、空間的余裕は資材の貯留のみではなく廃物の貯留、ひいてはその処理処分にも影響を与えている。それゆえ、第7章で述べる蓄積と輸送の困難度 α, β を、事業所内部での廃棄物の貯留への依存の程度といった面から評価することも是非必要であろう。

廃用量の予測方法としては、潜在廃棄物環境の視点からすると、供用中の消費材を単に所有率という形でのみ組み入れることはまったく不十分であることは何度も強調した。5-4-2 では、消費材の普及、消長をパラメーター U_s によって表現し、その普及と耐用年数の変化を考慮した新しい予測法を提示した。 U_s の意味する概念は耐久消費材以外の消費材についても十分に適用することができるので、各種の材の社会的代謝が成長期、安定期、減衰期などのどの段階にあるのかを把握するのに、 U_s は用いられるべきであろう。ただ、耐久消費材のかなりが 90% 前後の所有率を示しながらも U_s は 0.5 前後の値にとどまっていることは、5-4-2 で解釈したより多くの問題を含んでいるように思われる。端的には、消費材が安定期から減衰期にかけて示すであろう挙動を定式化することが重要であり、このことはイオウ鉱をはじめとする減衰期にある資源、生産資材の過去からの供給の動向をも含めて検討されるべきであろう。

生産段階での代謝に $k(t)$ は、5つの品目について産業別供用期間 t のことにより平均的な廃用率関数をもとめて、蓄積量と廃用量を簡便に算定することを可能とした。その廃用率関数 $f(t)$ は予期したほどにはアーラン分布に適合するものではなかったが、やはりその正の方向に尾を引く分布となった。アーラン分布の廃用率関数を想定したのは、4-4-2 で示したように年齢別（供用開始後の期間）別の廃用係数 $k(t)$ が $t \rightarrow \infty$ のときに一定値に近づくので取扱いやすいこと、ならびに次数 s と平均値 $1/\lambda$ をパラメーターとして比較、照合がおこないやすいことにもよるが、無理をしてこだわる必要はない。

鉄鋼を例として示した物質サイクルを他のいくつかの物質について描くとともに、これに付随して投入、産出される物質、とくに環境汚染物質の流れを定量的に表現することが是非必要である。このことは、潜在廃棄物の流動の制御によって最終的に環境を保全してゆく上に不可欠であり、当面に限定しても、投入産出分析の廃物発生マトリックスも指標物質の流れによってより明確となるであろう。5-5-3では、投入産出型の廃物発生マトリックスの例を作成したが、これが潜在廃棄物

環境モデルのなかで占める役割については 6-3 で述べる。

廃棄物の貯留については、6-4 で述べるような潜在ならびに顕在廃棄物の蓄積と流動との連関を考えるとき、早急にある種の基準を作成する必要にせまられているといえる。廃棄物発生量に対するストック空間の容量とその配置に関する検討は、地域的レベルでは第7章の廃棄物の地域的配分原理にもとづいておこなうことが可能であるが、発生源でのストック容量というレベルでは敷地面積や建築面積の一部を専用面積として確保するという方向をとるべきであろう。たとえば、標準的なオフィス・ビルで発生する廃物を、紙、ペン、かん 雑ゴミなどに分別して貯留し、週一回の収集時に搬出するものとすれば、単位床面積あたり約 $3\sim5 \times 10^{-3} m^3$ の貯留空間が必要となる*。基準値を決定するには、用途別あるいはアクティビティの種類別に質問紙調査を実施して、さらに詳しく廃物の発生特性を把握することが不可欠であろう。

社会的代謝に関する種々の考察に際して直接的な対象とした指標物質は、家庭代謝では耐久消費財、生産段階では鉄、紙、セメント、プラスチック、木材の5品目である。それらは家庭ならびに生産段階での代謝の全体的様相を考慮して選ばれたものであるが、選択の論理的強度は高いとはいいきれず、それゆえに代謝の指標物質の候補を取り上げて選択のプロセスを明示することは避けた。しかし、本論文の考察の占める位置をあきらかにするために、ここで指標物質の候補をまとめておくことは無意味ではないだろう。表5-21は家庭ならびに生産段階での代謝に関する指標物質の候補を示しており、蓄積現存の種類をまとめた表4-16と対応している。

表 5-21 家庭ならびに生産段階での代謝に関する指標物質の候補

家庭での代謝に関する指標物質の候補		生産段階での代謝に関する指標物質の候補	
システム製品・製品	無機物・化合物・元素	システム製品・産業製品	無機物・化合物・元素
台所用品(料理器具) 耐久消費財(143ページの表5-6で分類した。重要と考えられるものをここにあげると、洗濯機、冷蔵庫、テレビ、タンスなどである。) 建物	食料品(米などの穀物、肉、魚、野菜、野菜、飲料) 水、電気、ガス、石油、灯油 台所用品(食器、調味料などの容器、料理用具) 日用品(洗濯用洗剤、洗剤、洗剤、洗剤、洗剤) プラスチック 木材 紙 鉄 総有機物質 炭素、金属、栄養塩類	産業用機械器具 家庭用、事務用機械器具 工場建築物 生産装置	鉄鋼 石灰、基本物質(アフラなど) 合成樹脂 化学製品(エタール、硫酸、加圧ソーダなど) 鉄 重金属(Hg, Cd など) 有害化学物質(シアノなど)

* ビルから排出される廃棄物の量は、文献1)によれば、床面積 $1 m^2$ あたり1か月あたり $1.5 kg$ で、うち約70%が可燃性となっており、不燃性廃物は5%以下である。体積換算率を $7 m^3/t$ として、1週間の貯留廃物のしめる体積は $2.6 \times 10^{-3} m^3$ となる。

第6章 各種手法による潜在廃棄物環境の解析の研究

6-1 概説

本論文では、これまで第3,4,5章において、潜在廃棄物環境を地域的流動、蓄積（現存）、質的代謝という3つの概念に大別し、それぞれに相応した3つの調査の結果をもとに潜在廃棄物環境の解析を進めてきた。本章では、これらの各面を総合するための第一段階として、上記の概念が相互に関連する問題を設定し、計画的要素に留意しつつ、分析的アプローチを展開することとした。また、この章のもう一つの目的は、廃棄物に関する現実の環境問題に対処する立場からすると、すでに社会的に定着しつつある工学的手法を用いることが有効であると考えられることに鑑みて、二、三の手法による解析をおこなうことである。すなわち、廃物の発生と流動に関する因子分析をもちいた考察と投入産出分析型の都市代謝モデルに関する検討に加えて、蓄積、代謝、流動の関連に関する共軸図をもちいた考察をおこない、さらに再循環系の諸量（供用量、再利用量など）の関係を定式化することを試みる。

6-2では、数種の指標物質の輸送量、生産量、廃物量などの代謝と流動の各段階での断面量について因子分析をおこない、それらの値を説明しうる合成変量を誘導することを目的とする。

6-3では、投入産出分析を拡張し、代謝係数を組み入れたモデルを提案し、潜在廃棄物の顕在化、廃物化に対して新しい定式化をおこなう。

6-4では、道路面積、建物敷地面積、潜在廃棄物現存量、潜在廃棄物ならびに完全廃棄物流動量の相互関係を共軸法によって解析し、潜在廃棄物環境を土地利用の代替指標によって特徴づけることを試みる。

6-5では、人工サイクル、環境サイクルにおいておこなわれる再循環のメカニズムについて基礎的な考察を加え、再循環が代謝構造あるいは潜在廃棄物環境に与える効果について検討する。

6-2 廃棄物の発生と流動に関する因子分析

単一の生産過程での廃棄物発生については、その原料と製品、廃棄物の間には一定の量的な関係があるので、プロセスについて直接に検討を加えることによって明らかにされる面が多い。しかし、都市の規模で廃棄物の発生と主要原料、製品の流動との間に有意な関係を見いだすには、ひとつの特殊な事例を深く研究するとともに、対象の巨視的な構造に施した考察を導く必要があることは何度も強調したところである。すなわち、個々の生産プロセスを最底辺にし、それらが有機的に結合されて上段のシステムを構成しており、都市自身がひとつの独自性を有するシステムとしての義の階層的構造の上部に位置していることから、都市の規模で生じる現象に対して包括的な研究アプローチをとることには大きな意義がある。

5-5-3 では、事業所（製造業）に対する質問紙調査によって原料と廃棄物との関係を得て、地域レベルでの投入産出型代謝モデルを組み立てるための基礎的な検討をおこなった。原料と廃棄物との量的な関係が都市代謝のなかでどのように位置づけられるのかという点については、6-3で述べるが、そこでのアプローチはいわゆる bottom up方式の性格をもつ。

これに対して、都市レベルでの特性、とりわけ量的特性について top down方式に考察を加える場合には、内部の要素の関係が不明確であったり、どの要素が重要であるのかが不明であるのも少なくない。潜在廃棄物環境モデルを設定しているので、重要な要素やそれらの関係については仮説を立てており、その一部については前章までに相当の実証的な考察をおこなったが、この場合でも重要度が未知の要素とともに再検討することも意味があろう。

以上のことから、現象から抽出された因子の間の共通性、独立性を把握できる因子分析法が本研究においても有効であることが期待される。因子分析は多変量解析の手法で、対象としている現象にかかわっている因子が確定されていない場合、あるいは変量の集合ごとの共通的傾向が把握されていない場合に、変量群を数少ない合成因子の一次結合として表示し、その一次係数の組み合わせによって因子構造をあきらかにするものである。¹⁵⁾ここでは因子分析によって、原料や製品の流動と廃棄物発生との量的関係に注目して、原料投入量、廃棄物発生量、輸送量を対象とする指標物質ごとに規格化し、グループわけをおこなうこととする。

原料投入量、廃棄物発生量、輸送量などに関する既存の統計は、第5章でもかかれたように物質サイクルに沿った代謝量を得る目的にとっては、十分であるとはいえない。加工度の高い物質ほど生産量や輸送量が金額で表示されており、単位の換算を必要とする。そこで、二、三の統計について重量もしくは数量単位で算定されている品目を確認しておくことが必要である。製造業の生産では指定統計である工業統計表が最も詳しく、表 6-1 に示す品目については重量もしくは数量単位で生産量を知ることができる。一方、貨物輸送については運輸省大臣官房統計調査部基準による品目分類があり、鉄道、海運、自動車の三つの輸送機関の共通品目が表 6-2 のように示されている。¹⁶⁾これ

因子分析法には、 h_i^2 の与え方などによっていくつかの方法があるが、そのなかで変量の性格を最大限に区別するには、バリマックス法 (Varimax method) が優れている。バリマックス法は、変量の相関係数がいずれも低いという傾向がないことを確かめたのちに、変量をいくつかの群にわけ、その異質性を示すものである。⁽¹⁷⁾一つの合成変量に、一群の変量と、とくに高い相関を示し、残りの変量とは低い相関を示すときに単純構造でよいといひ、バリマックス法では単純構造の合成変量をとめることになる。この場合、 f_{ij} の平方の分散 $\sum_{j=1}^n f_{ij}^2$ をバリマックス基準とよび、

$$V_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (f_{ij}^2 - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_{kj}^2)^2 \quad (E-2)$$

によって求まる V_j を最大とする構造ベクトル $(f_{1j}, f_{2j}, \dots, f_{nj})$ が選ばれる。

指標物質として、鉄鋼、木材、紙、合成高分子材料（プラスチックなど）の4品目をとりあげ、それぞれ都道府県別の路線トラック輸送発量、輸送着量、出荷量、廃棄物量^{*}の計16の変量について因子分析をおこなう。府県別の輸送量を変量としていることは地域の場所的な位置を無視することになり、府県レベルでの平均的な流動量と出荷量、廃棄物量の値を同質の標本として取扱うことを意味する。

すでに知られている計算プログラム^{**}を用いて、まず変量相互間の相関係数をもとめ、ついで合成変数の数3、くり返し回数50、許容誤差 $\rho = 0.0001$ の条件のもとで計算を実行し、表6-4に示す結果を得た。図6-1は第一合成変量（その意味するものを第一因子と呼ぶ。）と第二合成変量の構

表 6-4 変量間の相関係数と構造ベクトルの成分（その1）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 鉄 出	1.0	.946	.435	.867	.529	.779	.392	.712	.810	.921	.710	.676	.952	.932	.350	.723
2 鉄 入	.946	1.0	.374	.901	.505	.844	.332	.731	.817	.947	.730	.742	.891	.954	.355	.794
3 金属 廃	.435	.374	1.0	.473	.118	.178	.056	.250	.314	.340	.515	.230	.438	.387	.590	.398
4 鉄 荷	.867	.901	.473	1.0	.376	.698	.250	.549	.694	.814	.886	.636	.805	.862	.466	.876
5 木 出	.529	.505	.118	.376	1.0	.530	.264	.536	.459	.528	.235	.324	.477	.507	.101	.234
6 木 入	.779	.844	.178	.698	.530	1.0	.369	.621	.683	.866	.490	.692	.743	.825	.159	.647
7 木 廃	.392	.382	.056	.250	.264	.369	1.0	.617	.266	.417	.085	.500	.285	.298	.050	.334
8 木 荷	.712	.731	.250	.549	.536	.621	.617	1.0	.801	.745	.427	.805	.662	.711	.187	.438
9 紙 出	.810	.817	.314	.694	.459	.683	.266	.801	1.0	.823	.598	.838	.781	.858	.347	.590
10 紙 入	.921	.947	.340	.814	.528	.866	.417	.745	.823	1.0	.622	.766	.661	.963	.280	.727
11 紙 廃	.710	.730	.515	.886	.235	.490	.085	.427	.598	.622	1.0	.499	.676	.707	.512	.768
12 紙 荷	.676	.742	.230	.636	.324	.692	.500	.805	.838	.766	.499	1.0	.615	.752	.285	.608
13 プラスチック 出	.952	.891	.438	.805	.477	.743	.285	.662	.781	.861	.676	.615	1.0	.892	.378	.699
14 プラスチック 入	.932	.954	.387	.862	.507	.825	.298	.711	.858	.963	.707	.752	.892	1.0	.328	.754
15 プラスチック 廃	.350	.355	.590	.466	.101	.159	.050	.187	.347	.280	.512	.285	.378	.328	1.0	.532
16 プラスチック 荷	.723	.794	.398	.876	.234	.647	.334	.438	.590	.727	.768	.608	.699	.754	.532	1.0

* 製造業より発生する廃棄物であるが、食品工業、繊維工業の一部、木材工業からの発生量は除外されている。

** 付録のプログラム（4）を参照。文献(117)による。

表 6-4 変量間の相関係数と構造ベクトルの成分(その2)

	平均値	標準偏差	第一因子の係数	第二因子の係数	第三因子の係数	備 考
1 鉄鋼移出量	143.0	268.8	0.946	0.152	0.148	鉄鋼金属機械製品 10 ² t/日
2 鉄鋼移入量	137.8	169.4	0.962	0.129	0.135	上に同じ 10 ² t/日
3 金属廃物発生量	549.6	1528.4	0.292	0.751	0.093	10 ² t/年
4 鉄鋼出荷量	4428.8	431.5	0.862	0.285	0.025	産業分類 31, 32, 34, 36, 37 の製造業出荷額 億円/年
5 材移出量	26.0	29.9	0.448	-0.017	0.150	10t/月
6 木材移入量	26.0	42.9	0.858	-0.064	0.137	10t/日
7 廃木材発生量	180.7	319.3	0.269	-0.030	0.961	10t/年
8 木材出荷量	363.9	295.7	0.656	0.031	0.491	木材、木製品出荷額 億円/年
9 紙類移出量	145.7	206.3	0.820	0.134	0.073	セルロース紙 10t/日
10 紙類移入量	145.8	200.2	0.954	0.059	0.171	上に同じ 10t/日
11 紙くず発生量	86.9	109.4	0.685	0.391	-0.087	10t/年
12 紙類出荷量	361.8	478.3	0.703	0.088	0.347	紙、パルプ、紙加工品 億円/年
13 合成高分子系移出量	171.0	248.9	0.916	0.184	0.048	10t/月
14 合成高分子系移入量	171.0	257.5	0.970	0.110	0.046	10t/月
15 合成高分子系発生量	33.0	65.6	0.241	0.924	0.012	プラスチック系品目 10t/日
16 合成高分子系出荷量	850.9	1153.1	0.745	0.343	0.138	プラスチック系品目 10t/日
			0.096	0.054	0.050	バリメータ基準

このベクトルの成分を示したものである。大部分の変量は第一因子で説明が可能であり、第一因子は一般的な産業立地、都市域といった意味をもつものと推定される。第二因子の値が高いのは金属廃物、合成高分子系廃物であり、第三因子では廃木材の値が高くなっている。これらの傾向から判断すると、製造業からの廃棄物の府県レベルでの発生量は、その物質サイクルの前段階に位置する生産や輸送とは異なった因子に支配されていると考えられる。最も広範囲な都市活動によって発生する紙く

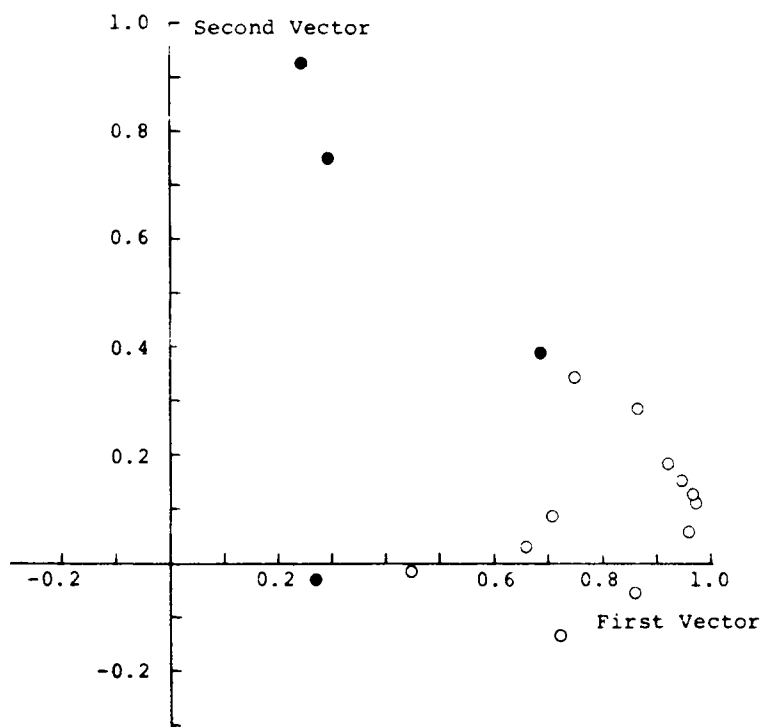


図 6-1 構造ベクトルの成分

ずを除くと、廃棄物の発生がその由来である資材の生産や輸送との間に有している品目独自の特徴よりも、4つの品目の生産や輸送の相互間にある内的関係の方が支配的であることを示唆している。

本論文において注目している代謝の各段階の諸量の内的関連は、適切な地域スケール、時間スケールで検討しないと、十分に明らかとならない。因子分析法を用いる場合にもこの点は留意しなければならない、さしあたり、市町村区域、さらに小さいメッシュ区域ごとの代謝量について考察を加える必要がある。

6-3 投入産出分析型の都市代謝モデルに関する検討

資源を入力として最終的には廃物を生み出す都市活動は生産と消費の段階にわけられるが、このうち 5-5-3 では生産過程での原材料投入量と廃棄物発生量との関係についての考察をおこなった。5-5-3 では投入産出分析を用いて、生産過程での廃棄物の発生に関して基礎的な検討を加えたが、本節では物質代謝をおこなう潜在廃棄物環境のより広い範囲に拡大して、検討を進めることとする。

生産過程に消費過程を加えるに際して、最終需要 (household economy) に非生産的活動の効果を集中させる方向をとらずに、* 表 5-24 に示した関係を次のように拡大する。すなわち、加工品 Y を生産財 V と消費財 W に分解し、それぞれについて投入資源 X との関係を行列で表現する。生産財 V_j の一単位を生産するのに必要な投入資源 X_i の量を A_{ij} 、必要な生産財 V_k の量を D_{kj} とする。消費財 W_ℓ の一単位を生産するのに必要な資源 X_i の量を $E_{i\ell}$ 、必要な生産財 V_k の量を $F_{k\ell}$ とする。対象とする地域の投入資源量、生産財ならびに消費財の生産量の関係は、

$$\sum_j V_j \cdot A_{ij} + \sum_\ell W_\ell \cdot E_{i\ell} = X_i - X_{i,w} \quad (6-3)$$

$$\sum_j V_j \cdot D_{kj} + \sum_\ell W_\ell \cdot F_{k\ell} = V_k \quad (6-4)$$

であらわされる。ここに、 $X_{i,w}$ は消費過程で直接使用される資源の量に相当し、たとえば家庭用の (w)、石油 (i) のようなものである。

生産過程での廃棄物の発生量を行列因子 (i, j) , (k, j) , (i, ℓ) , (k, ℓ) のそれぞれに論理的に明確な形で与えることは、5-5-3 で示したように、相当の困難をともなう。そこですでに述べたように、 V_i と V_k を入力として V_j (または W_ℓ) と廃棄物量 Z_m との関係する現象に対して、 X_i あるいは V_k が Z_m にかかわる平均的な割合 $SSS(i, m)$ あるいは $SSS(k, m)$ の比でもって Z_m 自身を配分して、** 廃棄物発生量 Z_m を投入量 X_i , V_k に結びつけることとする。すなわち、 V_j , W_ℓ と Z_m とは、産業構造を示す行列 A, D, E, F を媒介として間接的な関係におかれることになる。式では、

$$\sum_i X_i \cdot G_{i,m} + \sum_k V_k \cdot H_{k,m} = Z_m \quad (6-5)$$

とあらわされる。ここに、 $G_{i,m}$, $H_{k,m}$ は資源 X_i の単位投入量、生産財 V_k の単位投入量あたりの廃棄物 Z_m の発生量を意味する。

式 (6-3), (6-4), (6-5) より、

$$\sum_j V_j \cdot (\sum_i (A_{ij} \cdot G_{i,m}) + \sum_k (D_{kj} \cdot H_{k,m})) + \sum_\ell W_\ell \cdot (\sum_i (E_{i\ell} \cdot G_{i,m}) + \sum_k (F_{k\ell} \cdot H_{k,m})) = Z_m - \sum_i (X_{i,w} \cdot G_{i,m}) \quad (6-6)$$

* 最終需要は消費需要、投資需要、政府需要、輸出需要などにわけられるが、このうち投資需要については、資本蓄積と経済成長との関係として産業連関分析の動学理論の重要な課題を形成している。また、消費支出項目を内生化することも可能で、そのひとつのアプローチも示されている。¹¹⁶⁾

** 付録のプログラム 3 を参照のこと。配分計算例は F-173 でおこなった。

式(6-6)の右辺は、廃棄物発生量から資源の消費過程での直接的な消費によって発生した分を差し引いた値を意味する。通常の産業廃棄物の発生量調査でもとめられている産業中分類別の出荷額あたりの発生量原単位 α は、

$$\text{生産材について: } a_v = \sum_i A_{i,j} \cdot G_{i,m} + \sum_k D_{k,j} \cdot H_{k,m} \quad (6-7)$$

$$\text{消費材について: } a_w = \sum_i E_{i,l} \cdot G_{i,m} + \sum_k F_{k,l} \cdot H_{k,m} \quad (6-8)$$

の特殊な場合の値に相当する。いずれにせよ、廃棄物発生量を原料投入量、製品生産量のいずれと結びつけるとしても、他の因子との関係も間接的に表現しうるのである。

いま、地域内の単位期間(たとえば一年間)あたりの生産材の投入量と製品生産量を列ベクトル V_{in} 、行ベクトル V_{out} であらわし、生産過程に蓄積されている量を行ベクトル V とすると、収支式は次のように表現される*。

$$\frac{dV}{dt} = V_{in}^t - V_{out} - V \cdot K_v - Z' \quad (6-9)$$

ここに、 K_v は機械などの形で生産過程に貯留されている材の単位時間あたりの廃用割合を意味する廃用係数($K_{v,1}, K_{v,2}, \dots, K_{v,n}$)を対角部にもち、その他の要素はゼロであるような行列である。 Z' は生産過程で廃棄物に転化した部分を生産材の種類ごとに算定したものである。生産材、製品のいずれをも代表的な指標物質(その数は n)によって分類するが、素材的にみてこれらの指標物質に由来すると思われる廃棄物の値を、廃棄物を意味する行ベクトル Z より抽出、修正したものが行ベクトル Z' である。

同様に消費材の収支を表現すると、

$$\frac{dW}{dt} = W_{out} - W_{out}^* + W_{in}^* - K_w \cdot W \quad (6-10)$$

となる。ここに、 W_{out} は地域内での消費材の生産量を、 W_{out}^*, W_{in}^* は地域外部への移出量と地域外部からの移入量を意味し、いずれも行ベクトルで表示されている。式(6-9)においては、地域内外の移入量 V_{in}^* 、移出量 V_{out}^* は V_{in}, V_{out} に含まれている。 K_w は貯留されている消費材の廃用係数($K_{w,1}, K_{w,2}, \dots, K_{w,n}$)を対角部にもつ行列である。

ここで、式(6-3)、(6-4)、(6-5)の表現を改めると、

$$V_{out} \cdot A + W_{out} \cdot E = X^t - X_w^t \quad (6-11)$$

$$V_{out} \cdot D + W_{out} \cdot F = V_{in}^t \quad (6-12)$$

$$X^t \cdot G + V_{in}^t \cdot H = Z \quad (6-13)$$

* 廃棄物発生と蓄積されている潜在廃棄物に關係の深いものと投入原料に關係の深いものとに分けている。

となる。生産過程での投入産出をあらわす行列 A, D, E, F と、生産にともない直接的に発生する廃棄物をあらわす行列 G, H は、生産による物質の転化、流動を包括的に表現しているのが生産代謝行列と総称しよう。式 (6-9)~(6-13) の5式には、6つの生産代謝行列と2つの廃用係数行列に加えて、 $X, X_w, V_{in}, V_{out}, V, W_{out}, W_{in}^*, W_{out}^*, W, Z, Z'$ の11個の形式的変量がある。地域への資源の投入量と消費材の移入、移出量を条件として与え、さらに前述したように Z' と Z のなんらかの関数として表現することとすれば、8つの行列の成分をあらかじめ把握することにより、変量は6つに減少させることができる。さらに、環境計画の視点から Z の基準値が設定されると、それを満たす $V_{in}, V_{out}, V, W_{out}, W$ の値の群をもとめることは理論上は可能となる。通常は式(6-13)のかわりに、上限基準値を Z_{cri} として、

$$X^t \cdot G + V_{in}^t \cdot H \leq Z_{cri} \quad (6-14)$$

なる不等式を用いることになる。

以上の理論的展開にもとづいて計算例を示すには、5-5-3 で算定した廃物発生マトリックスを得るための調査（質問紙調査や公的統計調査）の数倍の規模で、かつ周到に準備した上で調査を実施することが必要である。そこで、投入産出分析型の都市代謝モデルの特徴を述べるにとどめて、数量的考察は今後の課題としたい。

さて、投入産出分析を環境問題に対して適用しようとしている試みとしては、国内では通産省エコロジー研究会の研究¹⁹⁾がある。その基本的構造はレオンチェフが提示したものに負っている。それと比較すると、上述の都市代謝モデルは次の二つの点において異なる。まず第一には、投入産出関係にストックの効果を見込み、廃物の発生を蓄積物質の代謝と捉えていることである。廃物多量発生型の産業構造は、現時点では一次加工型産業にみられ、急激な経済成長を想定する場合には、フローのみでそれらの産業での廃物発生をとらえることは可能である。しかし、高次加工型産業の比重が高まり、全体として廃物の発生を少なくするよう制御がなされ、あるいは経済規模が安定状態となると、生産過程のストックに直接に起因する廃物の割合は無視できないであろう。第二には、消費過程を生産過程とほぼ対等なレベルで取扱い、生産材と消費材とを別に検討していることが特徴である。すなわち、式(6-10), (6-11) に示したように、地域内の生産材のストック量 V と消費材のストック量 W が計画変数となっており、基準値 Z_{cri} が設定されると、それを満たす V, W を決定することも可能な構造となっている。

6-4 蓄積・代謝・流動の関連に関する共軸図をもちいた考察

集落あるいは近隣住区の単位で潜在廃棄物の地域的な流動の場となっているのは街路であり、一方、潜在廃棄物が主として蓄積されているのは各種建築物、なかんずく消費的地域では建築物の敷地であるといえる。都市空間を土地利用という側面からみると、宅地、事業所用地、街路、公園、緑地、水面などに分類することができるが、人間の直接的な生産あるいは消費が営まれ、人工的な潜在廃棄物が多く現存するストック空間と、そこを発着点にもつ物質流動をになう街路で構成されるフロー空間との間には、土地利用あるいは空間利用上の制約が見いだされる。たとえば、チェコスロバキアの都市計画上の土地利用基本図では、快適な生活を保障するために人口密度の高さに応じて土地利用のそれぞれの割合が変化している。⁽²¹⁾伊藤通暁⁽²²⁾によれば、中心より周辺に向って人口密度が一次的に減少する円形状都市を対象として、微小面積の人口に比例して街路幅員の増加量が定まるとの仮定のもとでは、街路網面積率は人口密度の2次関数になるとされている。

人口密度と重要な関連をもつ建物延床面積もまた街路面積に影響を与えるであろう。建物延床面積との関係は、ある都市のいくつかの街区では図6-3のようにあらわされる。⁽²³⁾すなわち、後者の前者に対する比の値は住宅地域で1.0~3.0程度であり、商業地域では1.5~6.0、工業地域では2.0~4.5程度の値を示す。実際の都市において、これらの比の値を決定しているのは、ある場合には自動車の進入が可能であるという事項であったり、宅地への入口を保障した上でできるだけ人口密度を高くするという事項であったりすることが多い。これらの場合に共通している要因と考えられるのは、私的空間とされている宅地や工場敷地などのストック空間に対して公共空間としての街路を狭義の経済性にしながら節約することであろう。本研究の視点とは異なるが、延床面積→活動→交通需要発生→交通量→街路 という方式の研究は試みられている。^{*}

潜在廃棄物環境という視点にたてば、都市内にもちこまれた資材は時間的なおくれをもないつつも必ず廃物化するのであるから、都市の各単位（生産単位、消費単位）で処理しえない廃棄物は必然的に街路上を運搬されることを見込んでおく必要がある。すでに述べたように、都市の物質代謝はそれぞれの時間スケールにしたがってその形態が異なるので、それぞれにあわせた街路の規模、数が定められなければならない。路地の奥まで家庭廃棄物の収集車が進入可能であることは、収

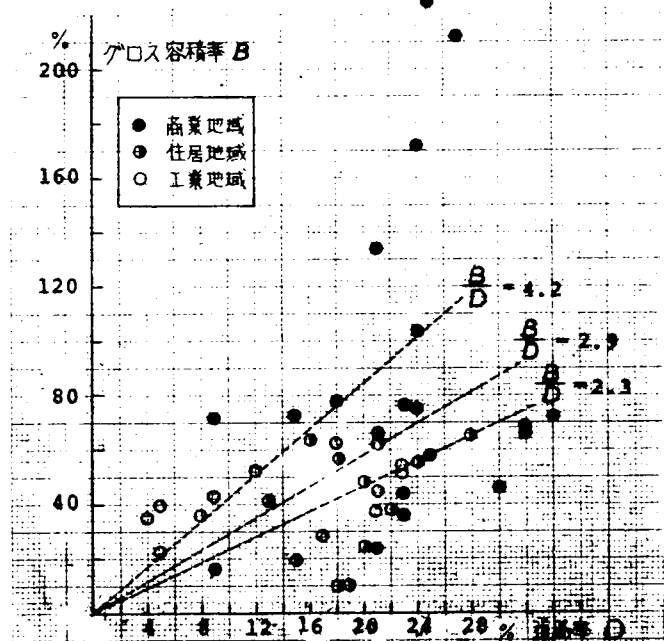


図6-3 グロス容積率と道路率との関係（文献(23)より作成）

* 8-3-1 で検討を加える Lowry モデルを用いる場合にも同様の流れがある。

集運搬の効率上からは不必要であるかも知れないが、都市の物質代謝を円滑に進めてゆくには都市にそのような機能(能力)を与えることが是非とも必要である。エネルギー代謝を示す通常時よりも、都市の構築的な代謝を意味する再開発の際には、街路のフローを担う役割がさらに如実に示されることになろう。

都市空間には種々の機能をもつ土地利用形態があり、たとえば、建物敷地面積と街路面積、それぞれのしめる面積の割合の比が一定であるというような単純な関係は見出しえない。ただ、公園、緑地、水面(都市空間の内部にとりこまれているものに限定する。)などは、社会的機能としては別個のものを有することは前提としながらも、潜在廃棄物環境のなかでは人工的構成物質の集中している部分のある種の作用を補償するオープンスペースとしての役割をはたしているといえる。人工物質の過大な高密度は社会的機能の面で悪影響をもたらすが、環境サイクルに対してもその地域内で終結すべき狭域のサイクルの成立を不可能にすることによって、次段のサイクルへの負荷を増大させる。私庭などでの可燃物の焼却や有機物の埋立が不可能になることによって、集中処理型の清掃事業への依存度が強くなっている事情もこのような面からも理解されるべきである。人工構成物質の密度の低い、自然的要素の残されている空間を人工的な潜在廃棄物の集中している空間に対応して広義のオープンスペース^{*}とよべば、それが物質代謝の面で寄与することは、ストック空間の一部として次段のサイクルへのフローの接続を容易にすることと、空間内部での比較的に閉じたサイクルを成立させることであるだろう。

概念を展開する意味で次のような定式化をおこなう。潜在廃棄物の土地占有面積の率を W 、対象地域面積 A に対する潜在廃棄物量を R 、オープンスペース率を S 、街路面積率を D とすれば、

$$W + S + D = 1 \quad (6-15)$$

であり、さらにオープンスペースを次のように表現しよう。

$$S = f(W, D, \dots) \doteq S_0 + d \cdot (W - W_0) + e \cdot (D - D_0) \quad (6-16)$$

基準値 W_0 、 D_0 との差に比例してオープンスペース量が示されているが、その差が小さい範囲に限定すれば、 $d = \partial S / \partial W_{W=W_0}$ 、 $e = \partial S / \partial D_{D=D_0}$ と考えられる。 d 、 e の概略値を求めるには、たとえば街区ごとの W 、 S 、 D の値に対して回帰分析をおこなえばよいであろう。図6-3と同じ資料にもとづいて回帰分析をおこなった結果では、 $S_0=0.49$ 、 $W_0=0.31$ 、 $D_0=0.20$ 、 $d=-1.2$ 、 $e=-0.4$ となるが、それは現状を説明するのに用いられるべきであり、大きな転換をともなう場合の予測にはそのままでは使用できないであろう。式(6-15)と式(6-16)とより、

$$(1-d) \cdot W + (1-e) \cdot D = 1 - (S_0 - d \cdot W_0 - e \cdot D_0) \quad (6-17)$$

^{*} オープンスペースの意味の広義の解釈は、著者とは違った視点からではあるが、Marion Clawsonの「都市の新しい資源としてのオープンスペース」⁽⁹⁾において詳しく述べられている。

のように W と D との関係がひとまず表現される。

さて、潜在廃棄物量 R は W の値に単位占有面積あたりの潜在廃棄物量を乗じることによって得られる。すなわち、 A を対象地域面積、 b を単位建物面積あたりの潜在廃棄物量とすると、

$$R = b \cdot W \cdot A \quad (6-18)$$

である。ただし、都市域では潜在廃棄物として建物が支配的であると考えている。さらに建物の平均階数を ψ 、延床面積あたりの潜在廃棄物量を a とすると、

$$R = a \cdot \psi \cdot W \cdot A \quad (6-19)$$

であらわされる。 a の平均的な値としては、第4章ならびに第5章でもとめた建物資材と耐久消費材の現存量の和である $0.5 \text{ m}^3/(\text{単位床面積} \text{ m}^2)^{\text{sp}}$ に若干の割増をおこなえばよいだろう。 ψ の値については都市の中心部から周辺に向ってある形で減少するという古典的な研究⁽¹²⁾をはじめとして、い

図 6-6 用途地域ごとの平均階数 ψ

第一種住居専用地域	1.2～ 1.5	商業地域	2.5～ 5.0
第二種住居専用地域	1.3～ 1.7	準工業地域	1.3～ 1.7
住居地域	1.4～ 1.8	工業地域	1.2～ 1.5
近隣商業地域	1.5～ 2.5	工業専用地域	1.1～ 1.3

くつかの調査や考察がなされている。表6-6は用途区域ごとの平均的な ψ の値を示したものであり、これらの値の積($a \cdot \psi$)をパラメーターとして R と W との関係をみていることになる。

潜在廃棄物現存量 R と地域的な物質流動との量的関係はもっとも重要な中心的課題であることは疑いない。第3章ならびに第4章の一部でそれらの関係について検討してきたが、ここであらためて考察を加えることとする。ここで注意しなければならないのは、3-5-2の富山平野を対象地域とした場合や4-3-2の堺市での調査結果における、潜在廃棄物ならびに完全廃棄物の現存量と流動量との比の値は、環境構成物質を総括したマクロな取扱いによって得られたものであるということである。すなわち、環境を構成する総物質について次式を適用し、係数 H_c ならびに K_c をもとめたものにある。

$$I_c = H_c \cdot R, \quad O_c = K_c \cdot R \quad (6-20)$$

H_c 、 K_c は式(2-6)に対応した流入側ならびに流出側の代謝係数である。街路上を流動する物質のなかには対象地域を単に通過するものが含まれているので、式(3-18)であらわされる蓄積関与率を潜在廃棄物と完全廃棄物のそれぞれに分けて表現し、さらに潜在廃棄物については流入が卓越し、完全廃棄物については流出が卓越するものとすれば、

$$\mu_i = (I_{IN} - I_{OUT}) / \max(I_{IN}, I_{OUT}) \quad (6-21)$$

$$\gamma_2 = (O_{OUT} - O_{IN}) / \max(O_{IN}, O_{OUT}) \quad (6-22)$$

を用いて、

$$I_{IN} = (H_c / \gamma_1) \cdot R, \quad O_{OUT} = (K_c / \gamma_2) \cdot R \quad (6-23)$$

が導かれる。

一般には、対象地域内部の代謝軸に沿った表現である、

$$I_s = H_s \cdot R, \quad O_s = K_s \cdot R \quad (6-24)$$

と式(6-20)とは一致せず、外部からの製品の購入と外部への廃物の放出のみで成立している完全寄生型の都市において特別に一致する。第5章で論じた質問紙調査では、家庭や事業所の単位あるいは地域としての代謝を把握するために、指標である H_s や K_s の値を算定しており、それを用いるにはあらかじめ次のように変形しておくことが望ましい。

$$I_{IN} = (p_i \cdot H_s / \gamma_1) \cdot R, \quad O_{OUT} = (p_o \cdot K_s / \gamma_2) \cdot R \quad (6-25)$$

$$p_i = (I_{IN} - I_{OUT}) / I_s, \quad p_o = (O_{OUT} - O_{IN}) / O_s \quad (6-26)$$

5-4-1での検討によれば、住宅地域での H_s ならびに K_s は総物質に対して、それぞれ $6 \sim 8 \times 10^3$, $3 \sim 4 \times 10^3$ /月程度の値であると推定される。 γ_1 , γ_2 については、断面流動調査の結果から算定した蓄積寄与率(γ_1 , γ_2)を参考にしつつ、対象地域の規模と地域内部での対象物質の独自の発生と消滅の量の相対的な割合のランク別に値をひとまず与えざるを得ないであろう。他方、地域内外の流出入量の差と代謝軸に沿った流入量あるいは流出量との比を意味する p_i , p_o の値をなんらの実測をおこなわずに前もって決定することはさらに困難である。前者(γ_1 , γ_2)は断面流動調査によって測定され、後者の把握には質問紙調査が有効である面も多いが、それらの調査の精度が各合していることがぜひ必要である。対象物質のレベル、種類ごとに実測値から p_i , p_o の値を算定して、地域ごとの比較をおこなうことから出発するのが妥当であろう。阪神間地域の断面流動調査の結果と、5-4-2で検討した家庭での消費量の1970年の平均値を用いると、耐久消費材の p_i , p_o は計算されるが、値は信頼できない*。この場合には、家庭での供用のみに限定していることがそれらの値を大きくしている一方で、地域内部での潜在廃棄物の独自の発生(耐久消費材の地域内生産)があることが小さくする方向に働いているであろう。

資材が加工される段階において物質欠損が生じない*ものとするれば、地域内での潜在廃棄物の新たな発生のうち、地域内で供用されるものが増えるにつれて p_i の値は増加し、完全廃棄物の地域内での蓄積や地域内処分割合が高くなるにつれて p_o の値は小さくなる。表6-7は蓄積寄与率と p_i , p_o の値の傾向を、地域の概略的な特性との関連で整理したものである。定量的な関係を得

* 境界における断面量の差から、1年間の $(I_{IN} - I_{OUT})$ や $(O_{OUT} - O_{IN})$ の値を算定しうるだけの精度を有していない。数回の断面流動調査が必要である。
 ** 種類を無視して物質を一括して取扱っているために、このことが仮定として必要となる面が強い。

るにはまだ多くの検討が必要であるが、各種の特性をもつ地域ごとの傾向をある程度は明確にしており、とくに完全廃棄物が集中する処理場のある地域の役割を考える上で有効であろう。

流動物質と街路との関係は、点的には街路断面での単位時

間あたりの流動量を指標として考えられ、面的には街路延長に対する流動量の積分値（距離に関する）が意義深く、第3章で述べた流動物質中の廃棄物濃度 ρ もそのような関係から理解されるべきであろう。街路面積 $D \cdot A$ に対する流動量として境界における流入、流出量 I_{IN} 、 O_{OUT} を採用することは、対象地域が小さくて街路が少ない場合には妥当である。道路の長さを ℓ とすると、

$$\phi_1 = \frac{I_{IN}}{D \cdot A} \cdot \sum \ell, \quad \phi_2 = \frac{O_{OUT}}{D \cdot A} \cdot \sum \ell \quad (6-27)$$

であらわされる ϕ_1 、 ϕ_2 は流動物質による街路空間の占有の度あいを示すので、潜在廃棄物あるいは完全廃棄物の流動密度とよがこととする。 ℓ は I_{IN} あるいは O_{OUT} を構成する個々の流動量に対応する街路の長さを一度だけ計上するものとする（図6-4参照）。しかし、街路の数が多くて対象地域が広い場合には、3-5-2で述べたように街路に沿う流動量の積分値へ転換することが必要である。もし、流動量の積分値を用いることにすれば、それらの街路面積に対する比として、 ϕ_1 、 ϕ_2 は次のようにあらわされる。

$$\phi_1 = \frac{\int_{IN} I'_{IN} dx}{D \cdot A} \quad (6-28)$$

$$\phi_2 = \frac{\int_{OUT} O'_{OUT} dx}{D \cdot A} \quad (6-28)'$$

式(6-28)、(6-28)'の積分は対象地域の中心（都市活動の中心であり、たとえば人口重心を採用することができるであろう。）より、それぞれ内向き、外向きの流動量 I'_{IN} 、 O'_{OUT} についておこなうものとする。

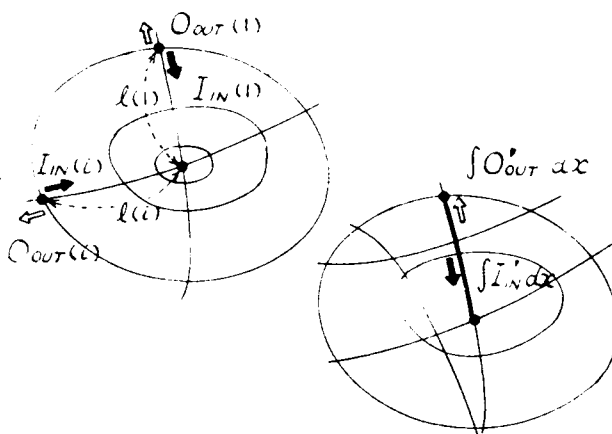


図 6-4 街路面積に対する流動量の考え方

3-5-2で示した無次元数 ϵ は式(6-28)'の ϕ_2 と密接な関係があり、式(3-26)の積分と式(6-28)'の積分が同一の方法でおこなわれるとすると、次のような関係式が成立する。

$$D \cdot \phi_2 = \epsilon \cdot O_s / \sum l_i \quad (6-29)$$

ϕ_1, ϕ_2 のディメンジョンは [重量 / (時間 × 距離)] であり、その比

$$\rho^* = \phi_2 / \phi_1 \quad (6-30)$$

は流動物質中の廃棄物濃度 ρ の地域的な平均値としての性格を有している。第 3 章に述べた意味での流動物質中の廃棄物濃度 ρ の道路に沿った積分による平均値は、

$$\rho_1 = \frac{\int_{IN} (O'_{IN} / (O'_{IN} + I'_{IN})) dx + \int_{OUT} (O'_{OUT} / (O'_{OUT} + I'_{OUT})) dx}{\int_{IN} dx + \int_{OUT} dx} \quad (6-31)$$

であらわされるが、 ρ^* と ρ_1 とでは廃棄物濃度を算定するための分母、分子の流動量の設定のしかたが異なっている。式(6-31)は、断面流動調査の測定地点で一方向の着在廃棄物に対する他方向の完全廃棄物の流動量の比を平均したものであり、

$$\rho_2 = \frac{\int_{IN} (O'_{OUT} / I'_{IN}) dx}{\int_{IN} dx} \quad (6-32)$$

の方が共通性がある。3-3-1 で述べた中小都市の例では、測定地点を結核街路に限定し、街路上の流動量を測定地点のそれで代表させることにすると、 ϕ_1 と ϕ_2 の値はそれぞれ 2262 t-V/(m・B)、134 t-V/(m・B) 程度の値である。

さて、街路面積率 D と潜在廃棄物の土地占有面積率 W との関係に第 1 象限に、 W と潜在廃棄物の現存密度 R/A との関係に第 4 象限に、 R/A と単位面積あたりの資材流入量 I_{IN}/A との関係、ならびに R/A と単位面積あたりの完全廃棄物の流出量 O_{OUT}/A との関係を第 3 象限に、さらに、 I_{IN}/A あるいは O_{OUT}/A と D との関係を第 2 象限に示すと、図 6-5 の共軸図が得られる。

都市における建物の密集化、空地の減少にとどまらず、図 6-6 の第 1 象限に示すように W は増加しているが、既成市街地の街路面積は再開発によってわずかに増加しているにすぎない。建物の高層化によって ψ の値が大きくなりつつあり、供用物質の豊富化・多量化による α の増加と相乗されて、4 象限の直線の傾き $\alpha \cdot \psi$ の値は増加傾向にある。他方、第 3 象限の最近の動向は十分には明らかではなく、消費量なら

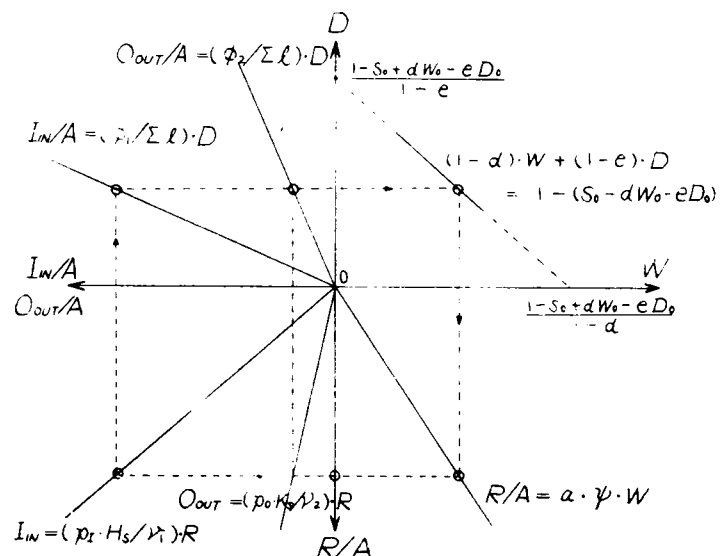


図 6-5 潜在廃棄物環境の共軸図

びに消費速度の増大が H_s , K_s に反映されているのは確実であるが、物資の輸送距離が長くなることによって、対象地域での通過交通のしめる割合が大きくなり、そのために γ_1 , γ_2 が小さくなりつつあるとは断言はできない。 γ_1 , γ_2 , p_I , p_o は地域の代謝面からみた特性に支配されており、地域ごとに相当の中をもつものと考えられるが、全体としては I_{IN}/R , O_{OUT}/R のいずれの値も増大していると推定される。第2象限の動向としては、 D がほとんど同じ値であるのに対して、資材の流入

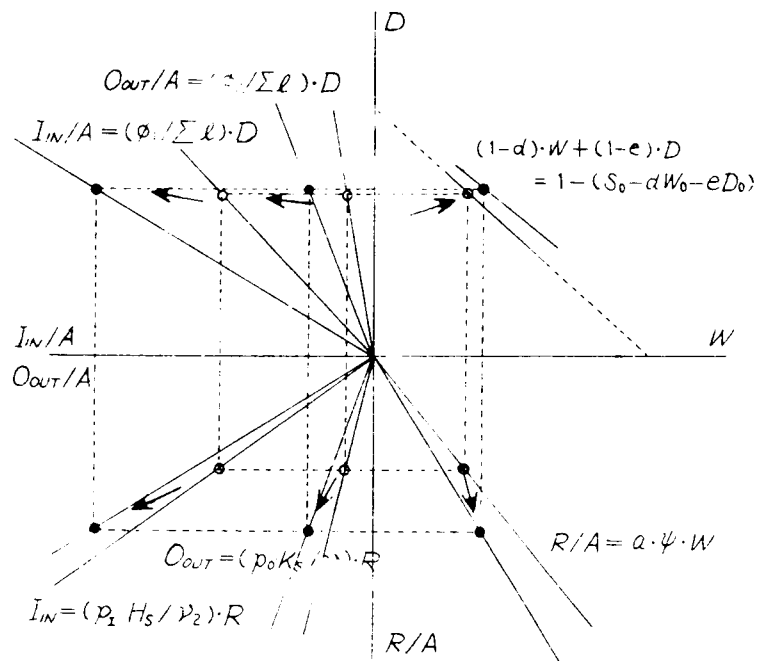


図 6-6 共軸図の4象限の動向

量と廃物の流出量は消費量の増大にともなって増加している。ただし、第2象限の横軸の流動量は地域の境界での値であるのに対して、街路面積と比較される対象は街路上の流動量であるので、式(6-28), (6-28)'を用いる場合をも含むように拡張するためには、次のような補正係数 i_1 , i_2 を導入する必要がある。

$$i_1 = \frac{\int_{IN} I'_{IN} dx}{I_{IN} \sum \ell}, \quad i_2 = \frac{\int_{OUT} O'_{OUT} dx}{O_{OUT} \sum \ell} \quad (6-33)$$

すなわち、式(6-33)を式(6-27)の右辺に乗じるとよい。

潜在廃棄物環境の計画化を進める上で、代謝に関する4つの要素（道路面積、潜在廃棄物占有面積、潜在廃棄物量、潜在ならびに完全廃棄物の流動量）の関係を示す共軸図は重要な内容をもっている。都市代謝が実際に営まれる経過をみると、土地利用計画にもとづいて用途地域が決定され、用途地域ごとに相応した産業や住居が配置され、ついで産業や住居での活動をささえる物質サイクルが形成され、必要とする資材と発生した廃棄物の運搬がおこなわれる。代謝の共軸でみると、第1, 4, 3, 2象限の順に現象が生じている面が強く、これまでの都市計画においても計画の主たる流れは基本的にこの順におかれているといえる。共軸図に示したように、4つの要素は循環的構造にあるにもかかわらず、潜在廃棄物の流動量を物資流動量と読みかえし、あるいは自動車交通量という指標を用い、それらを前提条件とする道路面積が決定されることを通じて第2象限から第1象限への思考的循環がなされているにすぎない。しかも、これらの4つの要素の間の関係は個別に

とらえられる傾向が強い。その結果、道路面積から想定される許容量を越える潜在廃棄物の流動量が発生したり、高い廃棄物濃度（流動物質中の廃棄物濃度）が生じるという形での不備も露呈している。

廃棄物濃度をはじめとして、これらの4つの象限の関係式に対しては一定の望ましい領域がある。その一部に関してはすでに述べたが、具体的な数値を添えて論じるためには、いくつかの典型的な地域を対象とした実測、環境調査をおこなう必要がある。この場合にも、4つの要素に循環構造があることを留意しておくことが、潜在廃棄物環境の計画化を進める上に有意義であることはいうまでもない。

6-5 再循環に関する基礎的検討

都市の環境サイクルにおいては、各段階での循環が重要な働きをする。貯留部分が次段のサイクルへの接続ならびに再循環のための節点であることについてはすでに述べた。本節では、2-2-2で述べた環境サイクルⅡに再循環の機能を与えた場合を想定し、都市代謝における再循環の役割について基礎的考察をおこなう*。

現時点では、個々の生産単位においても再循環されている物質はかならずしも多くはないが、二つの背景から再循環される傾向は強くなりつつある。その一つは、資源の枯渇に対応して廃棄物のなかから有用物質を回収することが必要となっているという資源論的背景である。他の一つは、廃棄物による環境の汚染を防止するために、外部に出す廃棄物の量を減少させ、再循環をはからねばならないという環境論的背景である。再循環は生産単位、消費単位でまず実施されるが、量的規模が再利用に必要な水準に達しない場合や再循環のための廃棄物の処理が単独で困難な場合には、都市のなかで必要な特性を備えた地域（たとえば工業地帯）を対象とした環境サイクルⅡが再循環の機能を受けもつことになるだろう。この場合には、不完全ながら環境サイクルⅡを構成している清掃事業や下水道システムに再循環の要素を付け加えるという形態をとることは必定であり、下水の高度処理水の再利用や産業廃棄物の再資源化のためのセンター構想もその一例であると考えられる。

ところで、資源論と環境論からみた再循環は、人間と自然との循環的關係を長期的に安定に保つという高次の段階では重なりあうものであるが、現状では対立的な側面が顕著である。資源論の立場からは物質サイクルの代謝方向に沿って、おのおのの段階で人間に対して種々の効用を発揮するように、質的量的な改善をおこなうことに重点がおかれる。この点では用途別に要求される材の質を同定することがきわめて重要なこととなり、それが定められると通常は良質の材から発生した廃棄物を処理して、粗質の材への転換、再利用がはかられる。図6-7は代謝軸に沿った材の質の変化を示したものであり、端的には用途A、Bに平行的に用いられてきた材が、再循環によって直列型の供用パターンをとることになる。当初の供給材の質 Z_{su} よりも低い粗質の材が用途Bで用いられるが、 $Z_{A,OUT}$ より $Z_{B,IN}$

の間の質の向上をはかることによって、系の流量すなわち全体の使用量を増加させることができる。しかし、最終的に発生する廃棄物の質は非循環系 (non-recycle system) の低い方の質に統合されるこ

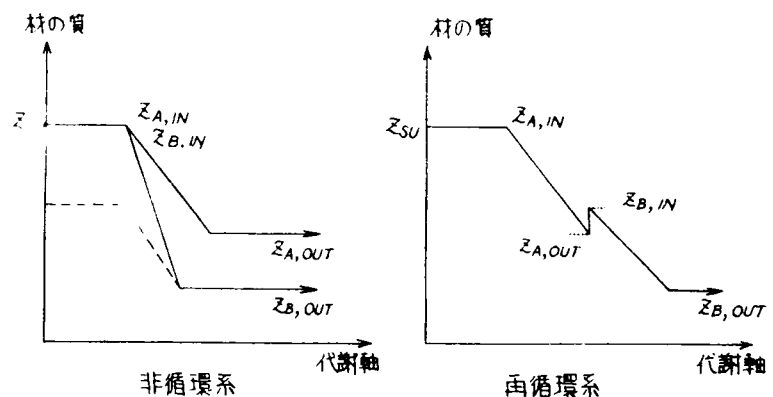


図 6-7 資源有効利用型の再循環の質変化

* 直接には、再循環と新規供用との選択を論じているが、この種の問題につきものである供給量の決定以前にも、いくつかの課題があることを強調しておく。

となる。非循環系と資源有効利用型の再循環系との負荷量の大小は、用途別の供用量の全体量が関係しているので簡単には比較できないが、再循環によって負荷量が減少するためには何らかの条件が必要である。

環境論の立場は、再利用、再循環によって廃棄物の発生量を実質的に減少させることを目的としており、非循環系と環境保全型の再循環系の模式的な比較は図 6-8 で示される。基準以下の悪い質の排出を示す用途 B では、処

理をおこなって基準値以上に回復させるとともに、一部分が再利用に転換されている。

供用量が一定であれば直接的な排出による負荷量は減少するが、再循環のための $Z_{B,OUT}$ より $Z_{B,IN}$ への質の向上に必要な処理の過程での発生廃棄物を考慮すると単純に判定することはできない。

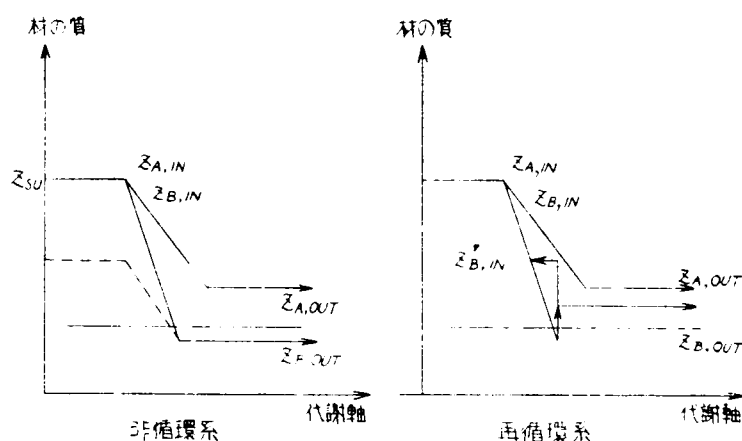


図 6-8 環境保全型の再循環の質変化

さらに、いずれの場合においても、供給材の質 Z_{su} は一般的には自然よりも動的に与えられるのではなく、図 6-7、6-8 の代謝軸の前段階で質を向上させるプロセスが設定されなければならない。再循環をおこなうための処理によって発生する廃棄物は、再循環の用途の材を新たに（再循環によらずに）要求水準 $Z_{B,IN}$ にまで向上される過程で発生する廃棄物と対照的に評価されるべきである。

対象とする物質によって再循環の形態が異なるのは当然であるが、以上の議論にもっとも大きい影響を与えるのは、物質サイクルが人間の物的な生産ならびに消費にかかわる段階で、供給材の質がどの程度の変化を示すかという点である。紙を対象とする場合について、物質サイクルとそれに沿った質の変化の模式図を示したのが図 6-9 である。逆に水を対象とする場合には、図 6-10 の模式図をみればわかるように、自然の水が利用レベルと大差のない質であるために、再利用、再循環のための処理が受けもつ必要のある質の高低差が相対的に大きくなっている。もちろん、廃用された物質を回収・収集することの難易度は、物理的な質とは別に再循環の可能性を左右するので、再循環の評価因子として取扱われるべきであろう。

そこで、供用から廃用にいたるシステムを次のようにモデル化し、再循環に関する基礎的な考察を進めることとする。図 6-11 は都市での物質サイクルを示し、その後半部は環境サイクルⅡに相当する。廃用された物質は一部は再循環されるとともに、次段の物質サイクルに接続する。問題を

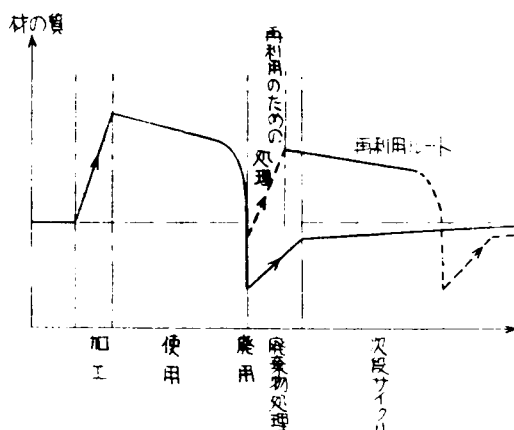


図 6-9 紙のサイクルに沿った質の変化

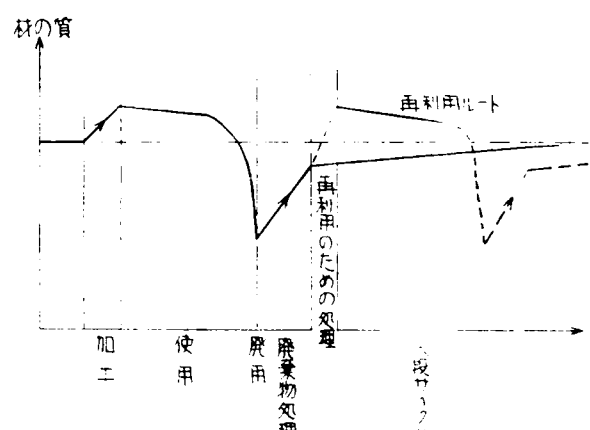


図 6-10 水のサイクルに沿った質の変化

簡単にするために、利用の前後を除いて、加工と処理の前後で量は変化しないものとする。システムの諸量は、用途別あるいは物質別の因子をもつ行列表示とすることもできるが、解析の最初の段階では用途や物質を限定してスカラー量とすることも許されるであろう。

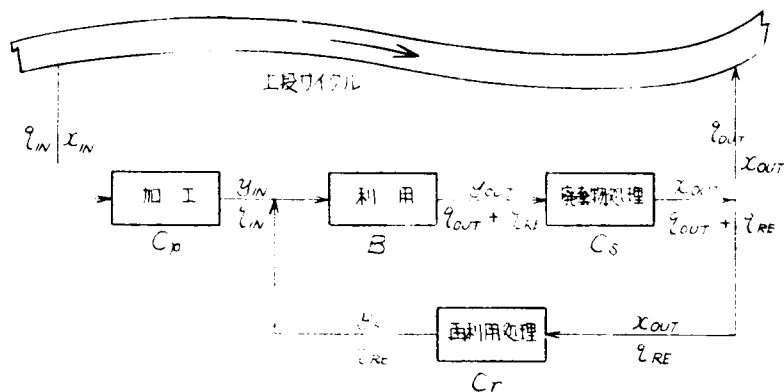


図 6-11 再循環を含む物質サイクル

一段上のより広域での規模な物質サイクルからの転入物質の質を x_{IN} 、量を q_{IN} とし、転出物質の質を x_{OUT} 、量を q_{OUT} とする。供給処理（加工）後の質を y_{IN} 、利用後の廃棄物の質を y_{OUT} 、廃棄物処理後の質を x_{OUT} 、再利用のための処理後の質を y_{RE} 、量を q_{RE} とし、再循環率を α とおく*。

$$\alpha = q_{RE} / (q_{RE} + q_{OUT}) \quad (6-34)$$

般に処理をおこなって質を向上させる際には、費用が必要である一方で、新たな廃棄物の発生もなされる。再循環系の評価に関しては後者が重要であることを述べたが、ここでは抽象的な困難度を設定しておくにとどめ、のちに再び検討する。加工のための単位量あたりの困難度を C_p 、廃棄物処理のための単位量あたりの困難度を C_s 、単位量あたりの再循環のための処理の困難度を C_r とする。一方、利用にともなう抽象的な便益を想定し、単位量あたり B とおく。

まず、一定の需要量の増分に対して上段のサイクルよりの取得によって対処するのか、それとも再利用のための処理をおこなって再循環させるのかという問題を設定する。上段の物質サイクルから

* 202 ページの注を参照のこと。再利用の材が供用されるまでに相当の期間があるなどのために、供用材のなかで再利用材のしめる割合が供用開始時期と廃用時期と異なることも予想される。ここではもっとも簡略なモデルを設定しているが、一般には式(6-34)を書きあらためる必要がある。

の転入物質の質が量の増加にともない劣化するものとする、

$$x_{IN} = x_{IN}(q_{IN}) = x_{IN} + \frac{\partial x_{IN}}{\partial q_{IN}} \cdot (q_{IN} - q'_{IN}) = e_1 + e_2 \cdot q_{IN} \quad (6-35)$$

のように、第一近似的な関係式が得られる。簡単のために二つの用途別の物質の流れを対象とすると、

$$x_{IN} = \begin{bmatrix} x_{A,IN} \\ x_{B,IN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{A,1} + e_{A,2} \cdot q_{A,IN} \\ e_{B,1} + e_{B,2} \cdot q_{B,IN} \end{bmatrix} \quad (6-36)$$

のようにあらわされる。粗質の物質の供用が可能な用途Bへの再循環のみを考えると、供用量を次のようにおく。

$$q_{IN} + q_{RE} = \begin{bmatrix} q_{A,IN} \\ q_{B,IN} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ q_{B,RE} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{A,IN} \\ q_{B,IN} + \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} \cdot q_{B,OUT} + \frac{\alpha_{A,B}}{1-\alpha_{A,B}} \cdot q_{A,OUT} \end{bmatrix} \quad (6-37)$$

$\alpha_{A,B}$ は用途Aより用途Bへの再循環率を意味する。需要量を一定としているので、式(6-37)の右辺の行列因子の値は一定である。先に例とした紙や木の場合にも、再生すり紙やダンボール紙、あるいは冷却用工業用水などの比較的低質な物質を利用しうる分野には再循環が容易であるが、良質であることを要求する分野へ再循環物質を供給することは困難である。

さらに、利用後の廃棄物の質 y_{OUT} を一定とすることはとくに一般性を失うないので、 y_{OUT} を固定すると廃用された時点の廃棄物の量と質の積は次のようにあらわされる。

$$\begin{bmatrix} Q_A \\ Q_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{A,OUT} \cdot y_{A,OUT} \\ (q_{B,OUT} + q_{B,RE}) \cdot y_{B,OUT} \end{bmatrix} \quad (6-38)$$

供用量を一定とすると、式(6-38)の値も一定量となる。ここで、廃棄物処理の単位量あたりの困難度 C_S は一般的に、

$$C_S = C_S(y_{OUT}, x_{OUT}, (q_{OUT} + q_{RE})) \quad (6-39)$$

のように、流入物質と流出物質の質に加えて、量 $(q_{OUT} + q_{RE})$ の関数と考えられる。以上の議論をもとめると、式(6-39)の C_S は論理的には x_{OUT} のみの関数となる。対象物質の処理施設での単位処理量あたりの費用を縦軸に、処理後の質を横軸に採用して作図し、回帰分析によって関数の概略を把握することができよう。加工のための単位量あたりの困難度 C_P 、単位量あたりの再循環のための処理の困難度 C_T についても、一般的には次のように表現される。

$$C_P = C_P(x_{IN}, y_{IN}, q_{IN}) \quad (6-40)$$

$$C_T = C_T(x_{OUT}, y_{RE}, (q_{OUT} + q_{RE}) \cdot \alpha) \quad (6-41)$$

以上の論述では、困難度の具体的な意味についてはとくに限定することを避けている。これは、計画構造が明確ではない時点において、評価自身が計画において重要な位置を占めているので、ひとまず困難度の評価に評価プロセスを集約することによって、他の部分の進展をはかっているためである。困難度については第7章においてより詳細な検討を加えるが、その場合でも統一的概念というよりは、いくつかの因子によって平行的に評価される形態をとっている。これまでの費用に注目して、「単位量あたりの費用×量」を最小にする方式が、相対的に計画構造が明確になっている場合*に採用されるのに対して、「単位量あたりの困難度×量」の最小化をはかる方式は計画構造が未定である場合に採用されるであろう。もちろん後者の場合には、困難度のひとつとして経済的な面からみた費用が選ばれることはありうる。

本節での困難度の内容は、物質サイクルに沿って物質の質を変えるに必要な技術という面から評されてくる。物質の質をあらわす各軸の値を上昇させるためには一定の処理を必要とする。この処理の難易の程度を表現するひとつの方法としては、まずは処理に必要な全エネルギーによって示すことがあげられる。使い棄てのビンが回収するビンの4.7倍のエネルギーを、生産・供給・消費・処理の全過程で必要である⁽²⁵⁾という計算例にみられるように、処理のための資材や機器を製造するのに必要なエネルギーをも配分して加算するのが望ましい。さらに、技術的な困難度に限定しても、表6-7に示すようないくつかの指標をもちいた評価が考えられるであろう。

それぞれの困難度の指標に対して適切な評価構造は同一であるとはかぎらないが、ここでは指標に特有な評価構造を追究することは別の機会にゆずる。以下では、再循環のモデルを作成して、「単位量あたりの費用×量」の最小化の方式について基礎的検討を加える。

表 6-7 困難度の指標

困難度の指標	困難度の内容とその特徴
トータルエネルギー	処理に必要な全エネルギーによって示す。物質の質の改善に必要な物質を得るのに必要なエネルギーを含む。
エントロピー	情報理論と同様にアナロジーによって概念が成立している。消費過程における、処理の必要な物質の分散に対する困難さを表現する上で有効である。
マンパワー（労働量）	マンパワー（労働量）、トータルエネルギー量、や質量を変換して表現しようが、市場経済的な面からの制約が強く、相対的な評価のみでは定まらない。
オルタナティブ表現法	物質の質の改善のために投入すべき労働量で表現する。個人の労働の質が異なるので、比較をする場合には工夫を必要とする。社会経済的な面との関係と評価に導入することもできる。 将来の技術の改善の見通し、環境に対する技術の影響なども含めて判定しようが、評価自身の安定性は低い。比較を同時におこなえる点は有用である。

さて、式(6-39)などで、直接に再循環量 q_{re} を独立変数としなかった理由は、再循環率 α を計画因子としているためである。ここに、再循環率を示す行列 α は、

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_{A,A} & \alpha_{B,A} \\ \alpha_{A,B} & \alpha_{B,B} \end{bmatrix} \quad (6-42)$$

であらわされ、用途Aより用途A、用途Bより用途Aへの再循環をしないので、

$$\alpha_{A,A} = \alpha_{B,A} = 0 \quad (6-43)$$

* 社会的費用が計上されていることが最低限のこととして、必要である。

である。供用物質の質 x_{in} は一定とおき、 x_{in} を q_{in} の関数として表現しているので、式(6-36)を式(6-40)に代入すれば、 C_p は q_{in} のみの関数となる。一方、再循環後の供用物質の質 y_{re} を y_{in} と同一として固定すれば、 C_r は x_{out} と α のみの関数となる。質の悪いものを再利用するための処理には大きい困難度がともなうので、悪い質ほど x_{out} が小さいとしているところから、 C_r は x_{out} に関して単調減少であるだろう。

ここで、初歩的な評価関数として次式を設定する。

$$F = C_p \cdot q_{in} + C_s \cdot (q_{out} + q_{re}) + C_r \cdot q_{re} \quad (6-44)$$

C_p 、 C_s 、 C_r は行列表示であり、列ベクトルである q_{in} 、 $(q_{out} + q_{re})$ 、 q_{re} に対応した対角行列となっている。すなわち、

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} F_A \\ F_B \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} C_{A,p} & 0 \\ 0 & C_{B,p} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} q_{A,in} \\ q_{B,in} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{A,s} & 0 \\ 0 & C_{B,s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{A,out} + \frac{\alpha_{A,B}}{1-\alpha_{A,B}} \cdot q_{A,out} \\ q_{B,out} - \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} \cdot q_{B,out} + \frac{\alpha_{A,B}}{1-\alpha_{A,B}} \cdot q_{A,out} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} C_{A,r} & 0 \\ 0 & C_{B,r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} \cdot q_{B,out} + \frac{\alpha_{A,B}}{1-\alpha_{A,B}} \cdot q_{A,out} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6-45)$$

である。

長期の耐用年数をもつ消費材では、5-4-2 で述べたように、利用過程の前後（供用時と廃用時）の代謝量が異なることが多い。そのために以上の議論では $(q_{in} + q_{re})$ と $(q_{out} + q_{re})$ を等置していないが、一般には、対象としている物質自身のライフサイクルに占める位置によって、それらの間にある種の関係が成立するであろう。すなわち、

$$q_{out} + q_{re} = G(q_{in} + q_{re}) \quad (6-46)$$

$$\begin{bmatrix} q_{A,out} + \frac{\alpha_{A,B}}{1-\alpha_{A,B}} \cdot q_{A,out} \\ q_{B,out} + \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} \cdot q_{B,out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_A(q_{A,in}) \\ G_B(q_{B,in} + \frac{\alpha_{A,B}}{1-\alpha_{A,B}} \cdot q_{B,out} + \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} \cdot q_{A,out}) \end{bmatrix} \quad (6-47)$$

である。ただし、対象物質の利用期間に比較して、加工過程、廃棄物処理過程、再利用のための処理過程での所要期間は無視できるほど小さいものとしていることに注意する必要がある*。

関数 G が一意的に決定される範囲内では、式(6-37)を用いると、式(6-47)の左辺の行列因子も一定となる。そこで、式(6-37)と式(6-46)の粗のかわりに、

$$q_{out} + q_{re} = q_c = \text{const} \quad (6-48)$$

* このことは相当に重要な問題を含んでいる。利用期間が短くなるか、もしくは3つの処理に要する時間が長くなることによって、ふたつの期間が接近してくると上記の仮定は成立せず、モデルが大きく変ることになる。このとき、(6-46)の G の役割は変り、重要な関係をあらわすことになるだろう。数学的には状態変数を設定（たとえば、 q_{in} 、 (dq_{in}/dt) のように）するシステム工学的アプローチも可能であるが、具体的な意味づけを明確にすることは簡単ではないだろう。

$$\begin{bmatrix} q_{A,IN} \\ q_{B,IN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_A(\alpha_{A,B}) \\ H_B(\alpha_{A,B}, \alpha_{B,B}) \end{bmatrix} \quad (F-49)$$

の二つの独立な制約条件を設定することとする。式(6-49)を、

$$q_{IN} - H(\alpha) = 0 \quad (6-50)$$

とあらわすこととする。

ここで、式(6-45)の評価関数の値を最小にすることを目的とすれば、式(6-48)と式(6-50)の条件下でラグランジュ係数を導入して、次式の最小化をはかることになる。

$$P = F(q_{IN}, x_{OUT}, \alpha) - \lambda_1 \cdot (q_{IN} - H(\alpha)) - \lambda_2 \cdot (q_{AC} + q_{RE} - q_C) \quad (6-51)$$

P の行列因子を q_{IN} , x_{OUT} , α の行列因子で微分し、それらの値をゼロとおいて得られる一群の式と式(6-48)、式(6-49)の行列因子の関係式を連立することによって、極小値とそれを与える独立変数の値の組が決定される。

用途Aでは、

$$q_{A,OUT} + \frac{\alpha_{A,B}}{1 - \alpha_{A,B}} \cdot q_{A,OUT} = q_{A,C} \quad (6-52)$$

の条件下で、

$$P_A = C_{A,P}(q_{A,IN}) \cdot q_{A,IN} + C_{A,S}(x_{A,OUT}) \cdot (q_{A,OUT} + \frac{\alpha_{A,B}}{1 - \alpha_{A,B}} \cdot q_{A,OUT}) - \lambda_{A,1} \cdot (q_{A,OUT} + \frac{\alpha_{A,B}}{1 - \alpha_{A,B}} \cdot q_{A,OUT} - q_{A,C}) \quad (6-53)$$

を最小にすることであり、用途Bでは、

$$q_{B,OUT} + \frac{\alpha_{B,B}}{1 - \alpha_{B,B}} \cdot q_{B,OUT} = q_{B,C} \quad (6-54)$$

$$q_{B,IN} - h_B(\alpha_{A,B}, \alpha_{B,B}) = 0 \quad (6-55)$$

の条件下で、

$$\begin{aligned} P_B = & C_{B,P}(q_{B,IN}) \cdot q_{B,IN} + C_{B,S}(x_{B,OUT}) \cdot (q_{B,OUT} + \frac{\alpha_{B,B}}{1 - \alpha_{B,B}} \cdot q_{B,OUT}) \\ & + C_{B,T}(x_{A,OUT}, x_{B,OUT}, \alpha_{A,B}, \alpha_{B,B}) \cdot (\frac{\alpha_{B,B}}{1 - \alpha_{B,B}} \cdot q_{B,OUT} + \frac{\alpha_{A,B}}{1 - \alpha_{A,B}} \cdot q_{A,OUT}) \\ & - \lambda_{B,1} \cdot (q_{B,OUT} + \frac{\alpha_{B,B}}{1 - \alpha_{B,B}} \cdot q_{B,OUT} - q_{B,C}) - \lambda_{B,2} \cdot (q_{B,IN} - h_B(\alpha_{A,B}, \alpha_{B,B})) \end{aligned} \quad (6-56)$$

を最小にすることに相当する。

まず、用途Aについて考える。式(6-53)を $q_{A,IN}$, $x_{A,OUT}$, $\alpha_{A,B}$, $q_{A,OUT}$ でそれぞれ偏微分して、ゼロとおく。

$$\frac{\partial P_A}{\partial q_{A,IN}} = \frac{dC_{A,P}}{dq_{A,IN}} \cdot q_{A,IN} + C_{A,P} = 0 \quad (6-57)$$

$$\frac{\partial P_A}{\partial x_{A,OUT}} = \frac{dC_{A,S}}{dx_{A,OUT}} \cdot q_{A,C} = 0 \quad (6-58)$$

$$\frac{\partial P_A}{\partial \alpha_{A,B}} = -\lambda_{A,1} \cdot \frac{q_{A,OUT}}{(1-\alpha_{A,B})^2} = 0 \quad (6-59)$$

$$\frac{\partial P_A}{\partial q_{A,OUT}} = -\lambda_{A,1} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_{A,B})} = 0 \quad (6-60)$$

通常、廃棄物処理の困難度 $C_{A,S}$ は良い処理後の質を得る場合には大きいので、前述したように悪い質ほど $x_{A,OUT}$ が小さいとすれば、 $C_{A,S}$ は $x_{A,OUT}$ に関して単調減少と考えられる。すると、式(6-58)が成立するためには、 $C_{A,S}$ が $x_{A,OUT}$ に関して変曲点をもち、その周辺で処理後の質を一単位だけ上昇させる場合の困難度の増加分がほとんど無視しうることが必要である。しかし、このことは現実的にはまれなことである。式(6-57)より

$$q_{A,IN} \cdot C_{A,P} = \text{const} \quad (6-61)$$

となる。しかし、結論的には、用途Aへの再循環を設定していないために、供用量 $q_{A,IN}$ と廃用量 $q_{A,OUT} \cdot (1-\alpha_{A,B})$ は需要量を一定とした時点で一意的に定まるので、式(6-61)は極値条件ではない。式(6-61)は、仮に廃用量は一定のままで $q_{A,IN}$ を変数として、式(6-47)の関数 G_A で廃用量との関連を示すとすれば、異なった意味で極値条件となる。いずれにせよ、用途Aへの再循環が設定されていないので、式(6-53)の値を小さくするには $q_{A,IN}$ を小さくするほかに手段はない。

用途Bでは事情が少し異なる。式(6-56)を $q_{B,IN}$, $x_{A,OUT}$, $x_{B,OUT}$, $\alpha_{A,B}$, $\alpha_{B,B}$, $q_{B,OUT}$ のそれぞれで偏微分して、値をゼロとおくと次式が得られる。

$$\frac{\partial P_B}{\partial q_{B,IN}} = \frac{dC_{B,P}}{dq_{B,IN}} \cdot q_{B,IN} + C_{B,P} - \lambda_{B,2} = 0 \quad (6-62)$$

$$\frac{\partial P_B}{\partial x_{A,OUT}} = \frac{\partial C_{B,r}}{\partial x_{A,OUT}} \cdot \frac{\alpha_{A,B}}{1-\alpha_{A,B}} \cdot q_{A,OUT} = 0 \quad (6-63)$$

$$\frac{\partial P_B}{\partial x_{B,OUT}} = \frac{dC_{B,S}}{dx_{B,OUT}} \cdot q_{B,C} + \frac{\partial C_{B,r}}{\partial x_{B,OUT}} \cdot \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} \cdot q_{B,OUT} - \lambda_{B,1} \cdot \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} = 0 \quad (6-64)$$

$$\frac{\partial P_B}{\partial \alpha_{A,B}} = \frac{\partial C_{B,r}}{\partial \alpha_{A,B}} \cdot \frac{\alpha_{A,B}}{1-\alpha_{A,B}} \cdot q_{A,OUT} + \lambda_{B,2} \cdot \frac{\partial h_B}{\partial \alpha_{A,B}} = 0 \quad (6-65)$$

$$\frac{\partial P_B}{\partial \alpha_{B,B}} = \frac{\partial C_{B,r}}{\partial \alpha_{B,B}} \cdot \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} \cdot q_{B,OUT} - \lambda_{B,1} \cdot \frac{1}{(1-\alpha_{B,B})^2} \cdot q_{B,OUT} + \lambda_{B,2} \cdot \frac{\partial h_B}{\partial \alpha_{B,B}} = 0 \quad (6-66)$$

$$\frac{\partial P_B}{\partial q_{B,OUT}} = C_{B,r} \cdot \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} - \lambda_{B,1} \cdot \frac{\alpha_{B,B}}{1-\alpha_{B,B}} = 0 \quad (6-67)$$

$q_{A,OUT}$ の量は P_B に対しては独立変数として寄与せず、用途Aの廃用量と $\alpha_{A,B}$ の積として関与するので、 P_B の極値条件を考察する場合には無視することができる。ここでは用途Bのみの困難度

の総合計を対象としているので、以上のように $q_{B,IN}$, $x_{A,OUT}$, $x_{B,OUT}$, $\alpha_{A,B}$, $\alpha_{B,B}$, $q_{B,OUT}$ のみを独立変数と考えることができるが、 F_A と F_B との和を最小とする場合にも、用途A自身への再循環がなければ同様の取扱いが可能である。すなわち、たとえば式(6-58)については、式(6-63)の左辺に相当する項を加えるとよい。

用途Bのみの困難度の総合計 F_B を最小にする場合に限定すれば、独立変数6つ、ラグランジェの未定係数2つに対して、極値条件式6つと制約条件式2つが成立するので、原理的には極値を与える変数値を決定することができる。しかし、そのためには $C_{B,P}$ が $q_{B,IN}$ の解析関数として、 $C_{B,S}$ が $x_{B,OUT}$ の解析関数として、さらに $C_{B,T}$ が $x_{A,OUT}$, $x_{B,OUT}$, $\alpha_{A,B}$, $\alpha_{B,B}$ の解析関数として表現されていることが必要である。極値を与える独立変数の関係を把握するためには、変数のいくつかを固定して考察を進めることが妥当である。6つの変数のうちで用途Bの循環システムの外部にあると考えられるのは、 $q_{B,IN}$, $x_{A,OUT}$, $\alpha_{A,B}$ であり、この3つの変数は残りの変数とは別に取扱いすべき性格をもっている。また、 $q_{B,IN}$, $\alpha_{A,B}$, $\alpha_{B,B}$ の間には式(6-55)が成立し、 $\alpha_{B,B}$ と $q_{B,OUT}$ との間には式(6-54)が成立するので特別の注意が必要である。

現実の問題設定では、6つの変数のいくつかは前提条件として与えられることが多いが、もっとも基本的な1変数の場合のパターンはおおむね次のいずれかに相当するであろう。

(i) 2つの段階の処理の技術的水準を固定して ($x_{A,OUT}$, $x_{B,OUT}$ は定数となる。), 一定の需要量を満たすために上段のサイクルからの供給と再循環のどちらに依存すべきかという問題。再循環の経路は一つであるか、もしくは複数を想定するとしても一経路にのみ変数が含まれており ($\alpha_{A,B}$, $\alpha_{B,B}$ のいずれかが一定であるか、もしくはゼロである。), 困難度の総合計 F_B を最小とする。

(ii) 2つの段階の処理の技術的水準と上段のサイクルからの供給量 $q_{B,IN}$ と需要量を固定して、用途A, Bのいずれの廃棄物からの再循環を優先すべきかという問題。変数は $\alpha_{A,B}$, $\alpha_{B,B}$ であり、困難度の総合計 F_B を最小とする。

(iii) 再循環量と上段のサイクルからの供給量を固定し、廃棄物処理後の質 $x_{A,OUT}$ あるいは $x_{B,OUT}$ を変数として、困難度の総合計 F_B を最小とする。

(i), (ii) の場合にはみかけ上は2変数であるが、条件式(6-49)があるために実質的には1変数である。

ここでは例として、 $q_{B,IN}$ と $\alpha_{B,B}$ を変数として上述の問題(i)を検討することとするが、2変数の場合には同様のアプローチをおこなうことができる。問題(i)を数式で表現すれば、

$$q_{B,IN} + \alpha_{B,B} \cdot q_{B,C} = q_{B,IN} + \frac{\alpha_{B,B}}{1 - \alpha_{B,B}} \cdot q_{B,OUT} = \text{const} \quad (6-68)$$

の条件下で、

$$F_B^* = C_{B,IN} \cdot q_{B,IN} + C_{B,T} \cdot \alpha_{B,B} \cdot q_{B,C} \quad (6-69)$$

を最小にすることである。図 6-12 のように縦軸に $q_{B,IN}$ を、横軸に $\alpha_{B,B}$ をとり、式(6-68)と目的関数の等値曲線を図上で表現する。 $C_{B,P}$ 、 $C_{B,r}$ は定数ではないので、縦軸切片上に F_1^* の値が大ききの順に配列するとはかぎらないが、その等値曲線が集中して微小な変数変化に対する F_1^* の値の変化が小さい位置は、任意の $\alpha_{B,B}$ の値に対して、

$$\frac{\partial C_{B,P}}{\partial q_{B,IN}} = -\frac{C_{B,P}}{q_{B,IN}} \quad (6-70)$$

をみたす $q_{B,IN}$ の位置にある。式(6-70)を満たすためには、大量加工によって一単位あたりの困難度が急激に減少することが必要であるが、式(6-70)を解くと、

$$C_{B,P} \cdot q_{B,IN} = \text{const} \quad (6-71)$$

であり、式(6-71)は加工量の増減にかかわらず、加工に関する困難度の総合計が不変であることを意味するので、事実上はありえないと考えられる。すなわち、一般的には、

$$\frac{\partial C_{B,P}}{\partial q_{B,IN}} > -\frac{C_{B,P}}{q_{B,IN}} \quad (6-72)$$

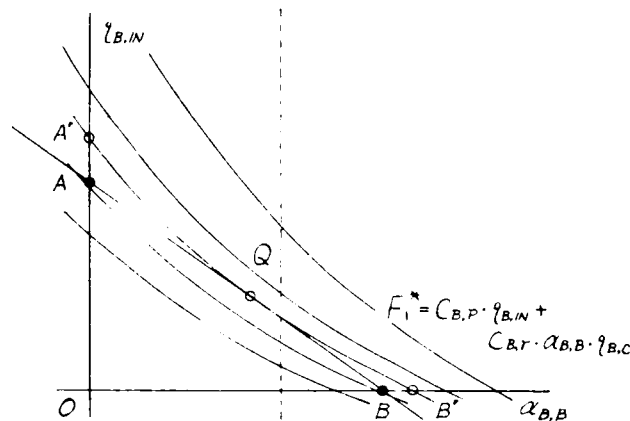


図 6-12 制約条件と無差別曲線群

であるので、任意の $\alpha_{B,B}$ を通る縦軸に平行な直線上を、 $q_{B,IN}$ の大きい方には大きな F_1^* の値をもつ等値曲線(無差別曲線)が横切る。

無差別曲線の $(\alpha_{B,B}, q_{B,IN})$ における接線の傾き m は、その点付近で $\partial C_{B,P} / \partial q_{B,IN} = 0$ であり、かつ $\partial C_{B,r} / \partial \alpha_{B,B} = 0$ であると仮定すると、次の値に近い。

$$m \approx \frac{q_{B,c}}{C_{B,P}} (C_{B,r} - \frac{\partial C_{B,r}}{\partial \alpha_{B,B}} \cdot \alpha_{B,B}) \approx -\frac{C_{B,r}}{C_{B,P}} \cdot q_{B,c} \quad (6-73)$$

この値と式(6-68)であらわされる直線の傾きを等値すれば、

$$C_{B,P} = C_{B,r} \quad (6-74)$$

とにおいて得られる $(\alpha_{B,B}, q_{B,IN})$ の軌跡が式(6-68)の線分と交わる位置 Q が重要な意味をもつことがわかる。もし、 Q が第1象限に存在すれば、 Q を通る無差別曲線と縦軸との交点 A' 、式(6-68)の直線と縦軸との交点 A について、簡単な計算から次の関係が導かれる。

$$C_{B,P} \geq C_{B,r} \longleftrightarrow OA' \geq OA \quad (6-75)$$

すなわち、加工量の増加にともない単位量あたりの加工の困難度が逓減するのであれば、交点 Q を通る無差別曲線 $A'QB'$ は線分 AB に関して原点 O と反対側にある。この場合には最小は端点 A あるいは B で生じる。逆に加工量の増加にともない加工の困難度が増加するのであれば、交点 Q を通る無差別曲線 $A'QB'$ は線分 AB に関して原点 O と同じ側にあり、接点 Q で極小となる。以上の

論述の前提や仮定については十分な検討が必要であるが、画一的な最適条件は見いだせない。

* 式(6-73)を厳密に定式化すれば、点 Q で接することになる。

6-6 各種手法による潜在廃棄物環境の解析結果の要約

本章は、三つの環境調査とそれによる潜在廃棄物環境の解析を通じて課題としてあらわれてきた2.3の問題について考察を加えたものであるが、本論文の主な流れは、環境調査→流動概念にもとづいた潜在廃棄物環境の計画化(第7章)にあることを付記しておく。

6-2では、数種の指標物質の流動量、代謝量に関する因子分析によって、代謝の結果としての廃用量が比較的独立した因子であることがあきらかとなった。物質種類ごとの流動量や代謝量の間には大きな相関はみられなかったが、これには府県単位の量であることが影響しており、地域スケールを縮小したときには異なった傾向があらわれる可能性が大きい。

6-3では、5-5-3で論じた資材投入・廃物産出の関係について、さらに理論的に考察した。レオンチェフ型の産業連関表、環境連関表に加えて、物量ベースの原材料・製品・廃物間連関表を提示し、潜在廃棄物環境における物質転換(生産)の占める位置を定式化した。資材投入に随伴して生じるものと生産物が老朽化し、消費されて廃物化するものの二つに廃物をわけ、それぞれを連関表のなかに表現し、環境基準(排出量限界値)を満足するようにモデルを組み立てた。原料投入・廃物産出行列 G, H に加えて、蓄積の効果を組み入れ、廃用係数行列 K_v, K_w を表現した点が重要である。

6-4では、廃物の流動、代謝の結果としての廃物発生、潜在廃棄物の現存状態、空間占有(土地利用)という4つの事象を同一平面上に表現することによって、それぞれの相互関係を明確にすることに寄与した。共軸図の第1象限には潜在廃棄物占有面積と街路面積との関係を、第4象限には潜在廃棄物占有面積と潜在廃棄物現存量との関係を表現した。前者は都市計画の領域では土地利用計画として取扱われており、第4象限では第4章で検討した現存密度が直線の傾きとしてあらわされている。共軸図の第3象限には潜在廃棄物の代謝関係と、第2象限には道路上の廃物の流動を表現した。前者では、第5章で導入したマクロ的な代謝係数 K, H が重要なパラメーターとなっており、後者では、流動物質による街路空間の占有の度合いを示す ϕ_1, ϕ_2 が支配的なパラメーターとなっている。

6-5では、廃物の代謝管理としての手段の一つである再循環について、物質サイクルに沿う物質の質変化を想定することによって基礎的な考察を加えた。資源有効利用型と環境保全型の再循環が、物質の質変化の視点からは、当分は異なった形態をとると考えられた。従来のコスト・ミニマム型のモデル表現を拡張して、困難度の最小化を目的として再循環システムを決定する初歩的な試みをおこなった。用途が二つで、一方への再循環を認めないという最も簡単な条件下でも、困難度の最少状態は個々のプロセス(加工、処理、循環のための処理)の困難度の評価 C_p, C_s, C_r によって異なることが見いだされた。

第7章 潜在廃棄物の流動制御による地域環境計画の研究

7-1 概説

将来はかならず廃物となる物質（潜在廃棄物）によって構成されているという潜在廃棄物環境の概念は、すべての環境構成物質を廃用の時点に集約することによって得られた極限的な概念である。物質サイクルが複合し、物質代謝をおこなっている潜在廃棄物環境は種々の局面をみせているが、それは地域的流動、蓄積現存、質的代謝の三つの視点からとらえられるべきであることは何度も強調した。それゆえに潜在廃棄物環境は静止しておらず、ゆっくりではあるが常に動いており、それはあるときには第3章で述べた入プロールとしてあらわれ、あるいは第4章で述べた蓄積現存量の漸増として、また第5章で述べた代謝速度の増大としてあらわれている。

前章までの環境調査とそれにもとづいた解析の結果から、流動をあらわす二つの式、すなわち物質収支式と代謝式（あるいは運動式）を用いて流動を計画的に起こさせる課題が浮かび上がってくる。潜在廃棄物環境の基本的機能の保持、更新のためには、つねに廃棄物が場所的に移動して質的に変化することによって、代謝されることが必要である。

以上のような考えのもとで最も基礎的なアプローチとして、潜在廃棄物環境における流動概念を廃棄物の地域配分法として具体化する方法論を展開する。すなわち、物質収支式と代謝式を連立させて廃棄物の配分式を導き、その配分式に関する基礎的・理論的考察をおこなったのちに、さらにケーススタディを実施し、実用化のための検討をおこなう。流動を制御することによって潜在廃棄物の計画化を進めるにあたっては、同時に検討を加える必要のある課題がいくつかある。物質が流動していることによって地域の分割はかならずしもア prioriにはできず、流動の制御のための指標も当初より固定することはできない。本章ではこれらの点についても基礎的な考察を加え、流動の二次元的な場としての地域（面）と流動の動線（線）との関係について検討を加える。

すなわち、7-2-1 では、潜在廃棄物環境の物質収支式と代謝式から廃棄物の地域配分法を導き、その背景と解のもつ意味について述べる。蓄積ならびに輸送の困難度を定義し、それらの関係式が地域配分に与える効果について検討する。なお、従来の受け身型の環境施設整備計画における、発生量予測値から施設規模と定める手続きを転換して、計画の基礎式としたものが代謝式である。さらに、配分法の数理的関係を明確にするために、二次元での代謝式の表現の可能性を検討し、微少部分での潜在的評価値のつりあい式をも含めて比較をおこなう。物質収支式と代謝式とから、蓄積と輸送への配分を示すexplicitな式が得られるが、これと上述のimplicitな二次元での表現とを比較検討する。7-2-2 では、廃棄物の地域配分と重大な関係をもつ受け入れ容量である環境容量の考え方を紹介し、上記の廃棄物の地域配分において環境容量のもつ意義と関連について考察する。

7-3-1 では、ケーススタディを展開するにあたって、廃物発生量の分布、廃物野積量の分布、人

この分布などをはじめとして、対象地域の概要について説明をおこなう。つづいて、7-3-2 でケーススタディを実施し、地域配分法の有用性をあきらかにする。蓄積と輸送に関する困難度の組として、（廃棄物野積量、流動物質中の廃棄物濃度）、（森林面積、輸送距離）、（廃棄物発生密度、易適地数）、（不法投棄場所確認数、交通容量に対する飽和率）の各組の因子からもとめた値を採用して、配分計算を行い、それぞれの配分結果について考察をおこなう。

7-4-1 では、配分の際の地域区分の概念を明確にし、森林面積を例にとって地域区分の手続について述べる。7-4-2 では、配分法で重要な機能をもつ困難度の値を定める指標とすべき因子の選択・決定について検討し、おのおのの因子の関連に関する基礎的考察をおこなう。さらに7-4-3 では、配分の地区の数が多くなった場合の配分法の改良を試み、加えて、蓄積の困難度にかかわる因子として静止物質中の廃棄物濃度を採用することによって、配分結果が次の時期の配分に影響するような動的計算を実施する。

7-5-1 では、流動物質中の廃棄物濃度を指標として、廃棄物流動の集中現象を検討する。すなわち、廃棄物の輸送にともなう廃棄物濃度の変化に注目し、濃度の日変化に対して定量的考察を加える。7-5-2 では、廃棄物の輸送問題を解くに際し、輸送費の最小化などの目的に先行して、道路上の廃棄物濃度を優先的な制約条件とする線型計画として定式化することを検討する。この問題は、本章において展開する廃棄物配分法を現実に応用するときの最初のステップであり、その成果がまたたび配分法にフィードバックされるべきものである。また、現実の計画では発生する廃物を与件として、これをいかに輸送するかが命題となることが多いが、この方法は発生制御に向かう計画化を課題としており、実例をもとに検討をおこなう。

7-2-1 廃棄物の配分原理¹²⁶⁾

境界をもつ地域の内部で顕在化した完全廃棄物は、5-4 ならびに 5-5 で論じたように、一部分はそのまま貯留されて無効用占有の状態に転化する一方、他の大部分に対しては何らかの処理・処分がおこなわれる。事業所や家庭における完全廃棄物の貯留は、とくに人口密度が高くて貯留能力が事実上は無いと考えられる地域では、輸送や処理の前段階としての意味が強い。しかし、家庭での耐久消費材による無効用空間の占有ならびに富山平野部での事業所敷地内の廃物の野積に関する検討^{*}からは、輸送や処理の前段階としての貯留は貯留の機能の一面であり、本来はより多様な重要な意味を有すると考えられる。6-5 では再循環系に関して基礎的な検討を加えたが、おのおのの家庭や生産単位における貯留は再循環の重要な接点であることも忘れてはならない。すなわち、廃用された場所での貯留は独自の機能をもつべきであり、かつ独自の空間を要求すべき過程であるにも

かわらず、現状では外部への排除のための一時的な通過施設としてのとらえかたがおこなわれているにすぎない。すなわち、廃用された物質は広い意味の無効用空間を構成し、代謝主体の価値判断によって、外部へ排出されたり、あるいは処理により質を変化させられるのである。

2-2-1 で述べた廃棄物体の概念を用いると、次のような解釈が可能である。廃用という契機により無効用空間より無効用空間への転入がなされ、無効用空間からは場所的流動と、価値軸の一段下層への転出がおこなわれる。いま、地域の単位面積あたり、単位時間あたりの廃用量を q_1 、場所的な輸送の代表速度を u 、下位のより安定な物質の段階への単位時間単位面積あたりの転出量を q_2 、無効用空間占有量 R_2 の地域単位面積あたりの量を c とすると、収支式は数学的には式(2-10)と同様に表現される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} = q_1 - q_2 \quad (7-1)$$

2-2-3 では、場所的な輸送項 $\partial(cu)/\partial x$ を無視した場合について、潜在的価値の収支を想定することによって代謝式(2-26)を表現し、さらに同様の式は廃棄物体の下層への転出量が現存量の増加量 $\partial c/\partial t$ に比例することから導くことができることをあきらかにした。そこで、質的・代謝方向の転出量を、

$$q = q_1 - q_2 = \alpha \cdot q_1 \quad (7-2)$$

のように一括できるとすれば、 $\alpha \cdot q_1$ と蓄積増加量ならびに場所的な流動項とによって、式(2-26)と同様の背景をもつ式を設定することができる。

$$\alpha' \cdot \frac{\partial c}{\partial t} + \beta' \cdot \frac{\partial(cu)}{\partial x} = q - \alpha \cdot q_1 \quad (7-3)$$

式(7-3)は地域的な流動に対する運動方程式のひとつの定式化であるといえるが、一定の物理量の

* 150, 177, 227 の各ページを参照のこと。

観測から帰納的に得られた式ではない。式(2-23)より式(2-27)にいたる過程で述べたように、式(7-3)はかなりの自由度をもつ*ので、ある現象に適合する α, β の値を求めることを含めて、固定的ではない取扱いをおこなうのが好ましい。

さて、廃棄物の処理とは、廃棄物のもつ特定の質的特性を改良することであるが、かならずしも重要と考えられるすべての特性に関して安全化、無害化、衛生化がおこなわれるのではない。処理とは物質の状態を変化させることであることを強調すると、安全化、無害化、衛生化の目的のためには、一方では廃棄物の発生源における発生制御が最も重要な課題となり、他方では式(7-1)の q_2 の項の意味を吟味しなおす必要性が生じる。対象としている廃棄物が混合物である場合には、それに含まれている物質の着目している特性によって、ある処理の操作をうける廃棄物を q_2 として計上すべきかどうか決定されるのである。発生した域内での処理が事実上は質的特性の改善に寄与しないという極端な場合には、廃用量のみが式(7-1)の右辺を構成することになる。

いま、相対的に安定な物質の段階への転出量 q_2 が、無効用空間と有量の反応**の結果として生じるものと考え、 C の関数として表現されたとすると、収支式は

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(CU)}{\partial x} = q_1 - f(C) \quad (7-4)$$

となる。蓄積増加量に対する評価のなかに、将来の処理による質の改善をも組み入れるとすれば、転出量 $f(C)$ に対する直接的評価をひとまず無視することが可能である。すると、式(7-3)のかわりに廃用量の配分を意味する運動方程式を考えることができる。

$$\alpha \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + \beta \cdot \frac{\partial(CU)}{\partial x} = q_1 \quad (7-5)$$

ここで、時間間隔 Δt を調節すれば、式(7-4)の $f(C)$ を無視した。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(CU)}{\partial x} = q_1 \quad (7-6)$$

と、式(7-5)を連立することによって、将来に処理されることを内容的に含む蓄積と空間外への直接的な輸送とに対する第一段階の配分をおこない、次の時期にいたる間に反応による転出量 $f(C) \cdot \Delta t$ を現存量 C より減じることによって、廃棄物の配分を進めることができる。

式(7-4)、(7-5)、(7-6)は完全廃棄物の地域的な配分の基本式である。本章では、第一段階の配分を中心に具体的に述べることにし、7-3でケーススタディを示したのちに、転出量を現存量より減じる第二段階の操作について7-4-3で基礎的な検討をおこないたい。

式(7-6)の左辺第一項である蓄積項と左辺第二項の輸送項の値は、廃用量 q_1 と係数 α, β が与

* 8-2において、やや詳しい考察をおこなう。特に別の意味を与えた取扱例⁵⁴⁾もある。

** 蓄積空間の処理機能によって変化をうけることを意味し、顕在廃棄物の目撃作用も含まれる。

えられると、式(7-5)と式(7-6)を連立させることによって代数的に定まる。ここに、 α, β は自己地域内で廃棄物を貯留する割合と他の地域に輸送する割合を規定する評価係数である。いずれも値が大きくなることによって、係数と積の関係にある蓄積増加量あるいは流動量の値が小さくなるので(係数と各項の値との一般的な関係については後述する。)、困難度 (degree of difficulty) あるいはディフィカルティと呼ぶこととする。 α, β は係数としては相互に平行的な関係にあり、それぞれ $\partial c/\partial t$, $\partial(cu)/\partial x$ とは対立的な関係を有する。

$\alpha = \beta$ でない場合には、式(7-5)と式(7-6)とを連立させることにより、蓄積項と輸送項の値は次のように求められる。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\begin{vmatrix} q_1 & 1 \\ q_1 & \beta \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ \alpha & \beta \end{vmatrix}} = \frac{\beta - 1}{\beta - \alpha} \cdot q_1 \quad (7-7)$$

$$\frac{\partial(cu)}{\partial x} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & q_1 \\ \alpha & q_1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ \alpha & \beta \end{vmatrix}} = \frac{1 - \alpha}{\beta - \alpha} \cdot q_1 \quad (7-8)$$

蓄積項と輸送項の係数の値が等しい場合 ($\alpha = \beta$) には、式(7-5)と式(7-6)の左辺の係数でつくられる行列式の値 ($\beta - \alpha$) がゼロとなり、数学的には連立解は不能である。この場合の物理的意味についてはのちに述べる。

困難度 α, β に関連する因子は多く、最初から単独の因子のみでその値を決定することは不可能である。まず検討すべき手法は、いくつかの支配的と思われる因子によって評価された困難度に対応する配分値を式(7-7)、(7-8)で計算し、その結果を比較検討することである。そのためには困難度を相対値で表示することが必要で、かつ、 α, β がまったく無関係に決定されるのではなく、一定の関数式で結合されていなければならない。 α, β の関係式として式(7-9)を提案する。

$$\alpha \cdot \beta = \pm 1 \quad (7-9)$$

ただし、 α が負の値であることに対応して $\partial c/\partial t$ が負の値をとり、 β が負の値であることに対応して $\partial(cu)/\partial x$ が負の値をとるものとする。(困難度が負であることの意味はのちに述べる。)

ここで、たとえば流動物質の廃棄物濃度のように、重要な因子をとりあげ、対象としている地区ごとに相対的な因子評価係数らを設定する。蓄積に対する困難度に直接に係わる因子のタイプはひとまず一通りと考えることが適切であるが、輸送に対する困難度に直接に係わる因子のタイプは、発着地点での廃棄物の存在のたやすさの差に逆比例するという概念に由来するもの(タイプⅡ)と、途中経路の通過にともなう障害を意味するもの(タイプⅠ)にわけられる。

タイプⅠ： 輸送経路の障害に起因する困難度

タイプⅡ： 輸送の発着地点での廃棄物の存在による障害の相対的、相互的評価に基づく困難度

これら二つのタイプの困難度は別の取扱いが必要である。

因子評価係数 r_i を 1~5 のランクをもつ相対値として与え、廃棄物の蓄積に対する困難度（蓄積困難度と略称する。）についてはひとまず次のように第一次値 α_1 を定めよう。

$$\alpha_1 = 0.2 \cdot r_i \quad (7-10)$$

他方、廃棄物の輸送に対する困難度（輸送困難度と略称する。）の第一次値 β_1 は、タイプⅠの因子の場合には当該地区より隣接する地区に仮想的に輸送した際にあらわれる状況に応じたらの値を用いて、式(7-10)と同様に、

$$\beta_1 = 0.2 \cdot r_i \quad (7-11)$$

であらわす。タイプⅡの因子の場合には次のような手続きによって β_1 を決定する。当該地区の因子の値 r_{-} と隣接地区の因子の値 r_{+} の組（隣接地区が 4 つあるならば、組の数は 4 つである。）をもちいて、それらの逆数をもとめ、各組ごとに逆数の大きい方向へ輸送させる。そして、 β_1 の値は次式で与える。

$$\beta_1 = \frac{n}{\left\{ \sum_{i=1}^n (r_{+i} + r_{-i}) \right\} \cdot \left\{ \max \left(\frac{1}{r_{+i}}, \frac{1}{r_{-i}} \right) \right\}} \quad \left. \begin{array}{l} : r_{+} < r_{-} \\ : r_{+} \geq r_{-} \end{array} \right\} \quad (7-12)$$

ついで、

$$\alpha_2 + \beta_2 = 2 \quad (7-13)$$

を満たすように、次のように変形する。

$$\alpha_2 = \frac{2\alpha_1}{\alpha_1 - \beta_1}, \quad \beta_2 = \frac{2\beta_1}{\alpha_1 - \beta_1} \quad (7-14)$$

第二次の困難度 α_2 , β_2 の値を式 (7-5) の α , β として利用すると、

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(CU)}{\partial x} = 0.5 \cdot q_i \quad (7-15)$$

となり、蓄積項と輸送項に対して別途に算定してきた困難度をひとまず無視して、同一の評価のもとにおいたことを意味する。図 7-1 は連立方程式の解を示しているが、 $\alpha_2 + \beta_2 = 2$ の場合には交点 P の座標値が縦軸と横軸で同一となる。しかし、因子評価係数より算定された第一次の困難度が異なることを最終的には組み込まねばならないので、 α_2 と β_2 の差に相当する値に注目して、さらに変換してゆく必要がある。

図 7-1 に示すように、Y 軸切片の値を $(\beta_2 - \alpha_2) / (\alpha_2 + \beta_2)$ に相当する割合で小さくし、X 軸

切片の値を同じ割合で大きくすれば、一応の目的は達せられる。図上では直線 AB から $A'B'$ への変換をおこなうことを意味するが、後者の線分は

$$\frac{\alpha_2}{2-\alpha_2} \cdot X + \frac{\beta_2}{2-\beta_2} \cdot Y = 1 \quad (7-16)$$

であらわされる。あらためて

$$\left. \begin{aligned} \alpha_3 &= \frac{\alpha_2}{2-\alpha_2} \\ \beta_3 &= \frac{\beta_2}{2-\beta_2} \end{aligned} \right\} \quad (7-17)$$

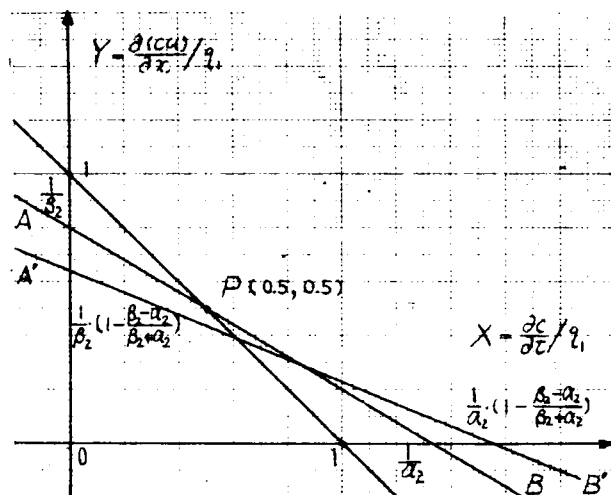


図 7-1 廃棄物の配分の図解法

のようにおき、 $\alpha_2 = \alpha_3$ 、 $\beta_2 = \beta_3$ を採用することによって、式 (7-5) の係数が決定されることになる。この変換の際に α_2 と β_2 との差をより大きく評価する場合には、拡大ならびに縮少の倍率を大きくすればよく、一般に m 倍の倍率に対しては、

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_2}{m+1-m\alpha_2}, \quad \beta_3 = \frac{\beta_2}{m+1-m\beta_2} \quad (7-18)$$

なる式を用いるとよい。

さて、式 (7-17) から α_3 と β_3 の積を計算すると、

$$\alpha_3 \cdot \beta_3 = \frac{\alpha_2}{2-\alpha_2} \cdot \frac{\beta_2}{2-\beta_2} = \frac{\alpha_2}{\beta_2} \cdot \frac{\beta_2}{\alpha_2} = 1 \quad (7-19)$$

となり、当然の仮定である式 (7-9) をみたしている。このような困難度を用いて式 (7-5) を表現するとすると、次の課題は、 (α, β) の組と $(\frac{\partial c}{\partial t} / q_1, \frac{\partial(cu)}{\partial x} / q_1)$ の組の対応関係を知ることである。そこで、これらの対応関係について図解的な説明をおこなうとともに、物理的な意味についても言及することとする。

第1象限に $(\frac{\partial c}{\partial t} / q_1, \frac{\partial(cu)}{\partial x} / q_1)$ を第3象限に (α, β) の示す位置を表現すると、 $\alpha + \beta = 2$ という特殊な場合には、すでに述べたように図 7-2 のような関係となる。

和が一定の制約式として、

$$\alpha + \beta = k \quad (7-20)$$

について検討する。式 (7-7)、(7-8) と式 (7-20) より

$$\frac{\partial c}{\partial t} \cdot \frac{1}{q_1} = \frac{\beta-1}{\beta-\alpha} = \frac{1}{2} - \frac{k-2}{4\alpha-2k}, \quad \frac{\partial(cu)}{\partial x} \cdot \frac{1}{q_1} = \frac{1-\alpha}{\beta-\alpha} = \frac{1}{2} - \frac{k-2}{4\beta-2k} \quad (7-21)$$

のような関係式が得られる。(ただし、 $\alpha \neq \beta$ の場合である。) $k > 2$ の場合には、図 7-3 のように $\beta = \frac{k}{2} - 0$ ($\alpha = \frac{k}{2} + 0$) で輸送項にもっとも多い廃棄物の配分があり、 β の値が小さくなるにつれてその配分率は減少する。ところが、輸送項への配分率が 50% になる点で配分を連続とするためには $\beta = -\infty$ から $\beta = +\infty$ に変化しなければならない。ついで、 β が

より α より大きく、かつ非零に接近した値であることを $Z = \alpha + 0$ とあらわし、 α より小さく、非零に接近した値であることを $Z = \alpha - 0$ と表現する。

$+\infty$ より $\frac{k}{2}+0$ になるまで β の減少にともない輸送項への配分率は減少し、やがて負値をとる。一方、 $0 < k < 2$ の場合には流動項への配分率と β の関係は、 $k > 2$ の場合とは異なった傾向を示す。 $\beta = \frac{k}{2}+0$ で輸送項への配分率は正の無限大であり、 β の値が大きくなるにつれて減少し、やがて 0.5 に漸近する。輸送項への配分率 50% において、 $\beta = +\infty$ に $\beta = -\infty$ を接続させることによって、配分率と困難度との関係をなめらかにすることが可能である。ついで、 $-\infty$ より $\frac{k}{2}-0$ にいたるまでは β の増大(絶対値は減少)とともに減少し、やがて負の無限大となる。

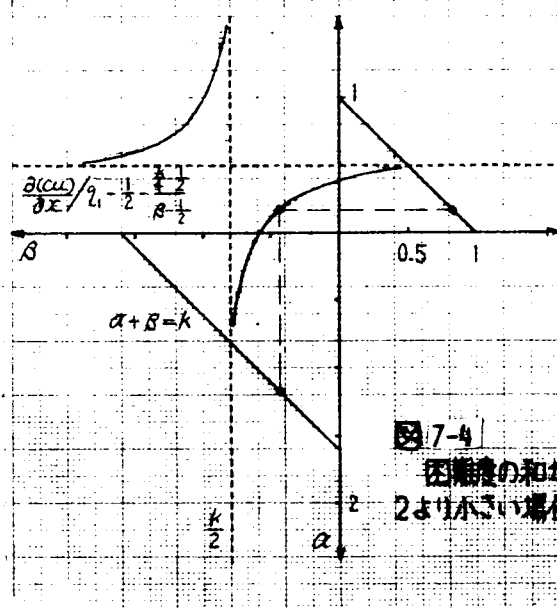
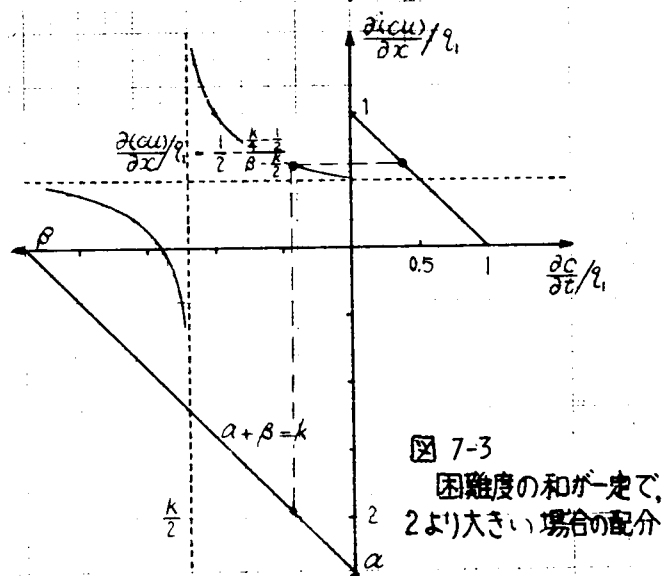
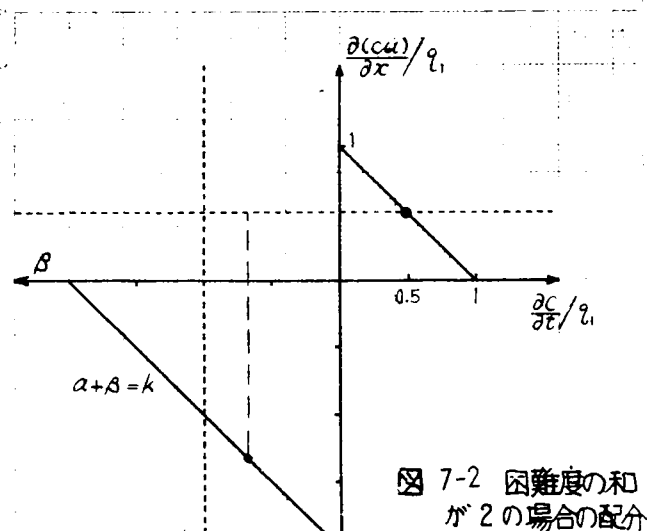
図7-3と図7-4とを比較すればわかるように、 k が小さい方から2を越える際に、点線で示した補助的な座標軸に關して反対の象限に直角双曲線が移り変っており、 $k=2$ が特異な位置をしめていることが理解されよう。 $k > 2$ の場合には、 β が正で十分に大きくても半分近くの配分がみられ、逆に輸送困難度が $\frac{k}{2} < \beta < k-1$ とみえる範囲では流動項への配分量が負となるなど、困難度の物理的意味とは矛盾した挙動を示す。 k が正で $k < 2$ である場合も、 $\frac{k}{2}$ を境界として少し大きい値を輸送困難度がとるのと少し小さい値をとるのとでは、 $+\infty$ と $-\infty$ というまったく異なった配分率を示す。たとえ、前述のように輸送項と蓄積項への配分量が等しくなる位置で正負の無限大の値をとる β の値を接続させることにより、配分率と困難度との関係をなめらかにしても、 $\beta = \frac{k}{2}$ を境とした配分率の急変に合理的な物理的意味を与えるのは困難である。以上のことから、困難度の和が一定という型の制約式は、そのまゝでは制約条件式としては適当ではない。

積が一定の制約式の一般形として次式を考える。

$$\alpha \cdot \beta = \pm k \quad (7-22)$$

すると蓄積項と輸送項への配分量は α, β に關して二次の分數関数で表現される。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} &= \frac{\alpha+k}{\alpha^2+k} \cdot q_1 - \frac{\beta-1}{\beta^2+k} \cdot q_1 \\ \frac{\partial(cw)}{\partial x} &= \frac{\beta+k}{\beta^2+k} \cdot q_1 - \frac{\alpha-1}{\alpha^2+k} \cdot q_1 \end{aligned} \right\} \quad (7-23)$$



その関係は単純ではなく、たとえば $k > 1$ のときの β と輸送項への配分率との関係を図 7-5 に示すが、一般的な困難度の概念に反して β について単調減少になっていない。

このうち、 $\alpha \cdot \beta = 1$ の場合には図 7-6 に示すように、 $\alpha, \beta > 0$ の範囲では蓄積項ならびに輸送項への配分率は、それぞれの困難度 α, β に関して単調減少である。さらに、 $-1 < \alpha < \infty$ 、 $-1 < \beta < \infty$ の範囲に限って次のような操作をおこなえば、輸送あるいは蓄積の困難がほとんど無視できて逆に政策的な吸引力と有する、困難度が負の領域に対しても適用しうる可能性が見いだされる。隣接する二つの地区がいずれも負の蓄積困難度 (β) を持つことは、廃棄物を集中的に受容する施設が連続して存在することを意味し、実際の地域としては存在しにくいこと、ならびにたとえ存在したとしてもそれらの間に仮想的な地区を設定すればよいことに鑑みて、そのような場合をここでは除外することとする。

対象とする地区の二つの困難度がいずれも正の場合には、図 7-6 の (α, β) 座標軸に関して第 1 象限にあるグラフを用いると、前述したように、(α, β) と $\frac{\partial C}{\partial x} / q_1$ 、 $\frac{\partial(Cu)}{\partial x} / q_1$ との関係は困難度の物理的な意味に合ったものとなる。いま、 α が正で β が負の場合には、 $\alpha \cdot \beta = +1$ のグラフについて β が負の象限で β の値から輸送項への配分率を決定し、 $\alpha \cdot \beta = -1$ のグラフについて α が負の象限で α の値から蓄積項の配分率を決定する。 β より $1/(1+\beta)$ をもとめる図上の点 B の縦座標の値が輸送項への配分率を示し、 α より $1/(1+\alpha)$ をもとめる図上の点 A の横座標の値が蓄積項への配分率を示す。逆に、 α が負で β が正である場合には、 $\alpha \cdot \beta = -1$ のグラフについて β が正の象限で β の値から輸送項への配分率を決定し、 $\alpha \cdot \beta = +1$ のグラフについて α が正の象限で α の値から蓄積項への配分率を決定する。この場合には、 β より $1/(1+\beta)$ をもとめる図上の点 B' の縦座標の値が輸送項への配分率を示し、 α より $1/(1+\alpha)$ をもとめる図上の点 A' の横座標の値が蓄積項への配分率を示す。

α, β のいずれかが負の値をとるということは、負の値を示す困難度に対応する項への配分がきわめて容易であることにともなって他の項への形式的配分が負となることを意味する。蓄積困難度が負の場合には対象地区への廃棄物の流入を促し、

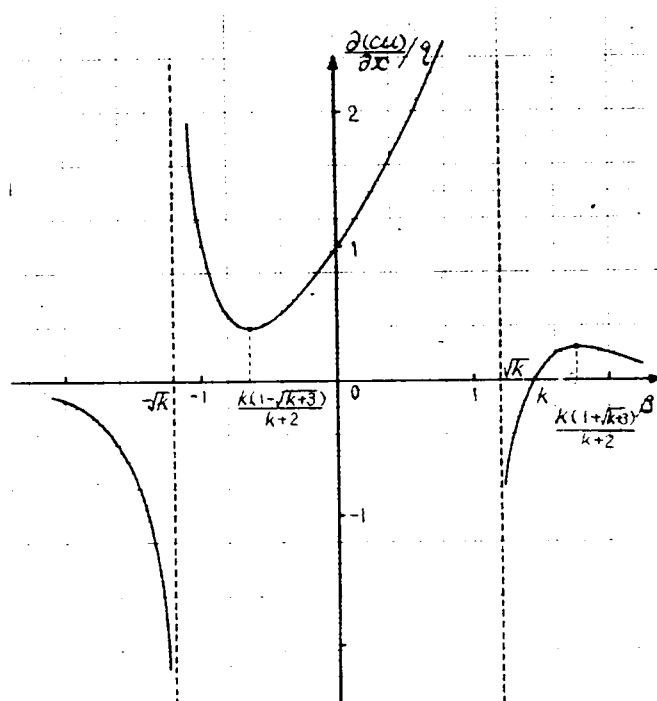


図 7-5 困難度の積が一定で、1 より大きい場合の輸送項への配分割合

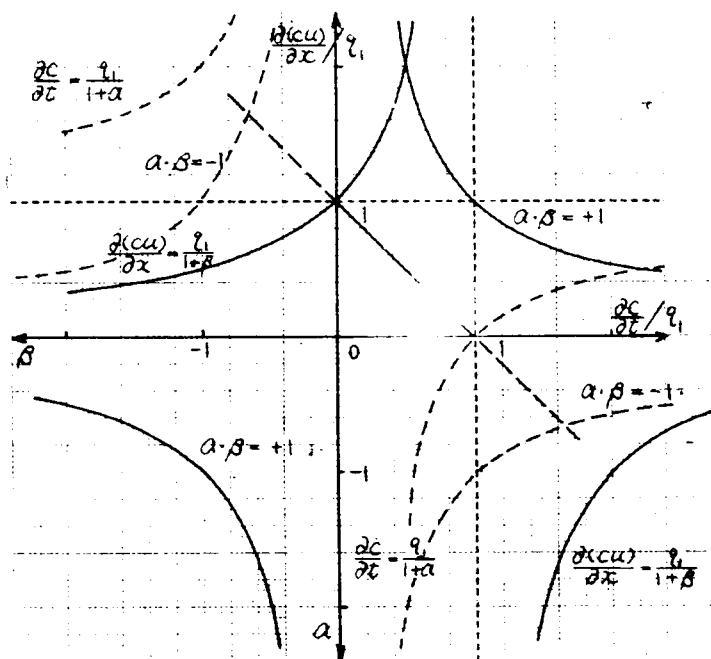


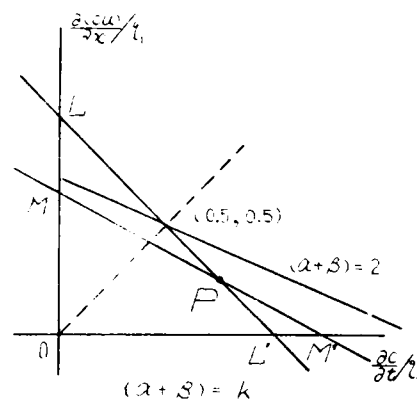
図 7-6 困難度の積が 1 の場合の廃棄物の配分

輸送困難度が負の場合には対象地区内の過去の蓄積量の一部すらも流出するように働く。このように、式(7-9)に示した関係式は特殊な場合の式であるが、廃棄物の配分問題を検討する際にはきわめて好都合な制約式であることが理解される。

和が一定、あるいは積が一定の型のいずれの制約式を用いる場合でも、蓄積困難度と輸送困難度が等しい場合には計算式は式(7-7)、(7-8)の分母がゼロになるために工夫を要する。物理的な意味からみると、蓄積困難度と輸送困難度が等しいとき二つの項に均等に配分することと解することは妥当である。しかし、その等しい値が相対的に大きい場合には蓄積あるいは他地域への輸送のいずれもが相当に困難であるにもかかわらず、半量ずつの配分を強制することになるので、配分式の適用にあたって注意する必要がある。図7-7は、和が一定の型と積が一定の型の制約式の両方の場合について、困難度の値の組から蓄積項ならびに輸送項への配分率をもとめる過程を示している。取次式(7-6)は直線 LL' であらわされ、制約式(7-5)は直線 MM' であらわされている。 LL' と MM' の交点 P の横座標、縦座標の値が蓄積項、輸送項への配分割合を意味する。和が一定の制約式の場合には、 α が $\frac{1}{2}$ に、 β が $\frac{1}{2}$ に近づくにつれて LL' と MM' とが平行となり、 P が一定の制約式の場合には、 α が \sqrt{k} に、 β が $\frac{1}{\sqrt{k}}$ に近づくにつれて LL' と MM' とが平行となり、一般には有限の配分率は得られない。和が一定の制約式の場合には、次に示すように、 β を α に近づけるときの配分率の極限値は $k=2$ の場合にのみ有限値0.5となる。また、積が一定の制約式の場合には、 β を α に近づけるときの配分率の極限値は $k=1$ の場合にのみ有限値0.5となる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial \alpha} \cdot \frac{1}{q_1} &= \frac{\beta-1}{\beta-\alpha} = \frac{k-1}{k-\alpha} \quad ; \quad \frac{\partial C}{\partial \alpha} \cdot \frac{1}{q_1} = \frac{1-\alpha}{\beta-\alpha} = \frac{1-\alpha}{\alpha-k} \\ \lim_{\beta \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{k-1}{k-2\alpha} &= \lim_{\alpha \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{k-1}{k-2\alpha} \right) = -\frac{1}{2}, \quad \lim_{\beta \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{1-\alpha}{2\alpha-k} = \frac{1}{2} \end{aligned} \right\} \quad (k=2) \quad (7-24)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial \alpha} \cdot \frac{1}{q_1} &= \frac{\beta-1}{\beta-\alpha} = \frac{k-\alpha}{k-\alpha^2}, \quad \frac{\partial C}{\partial \alpha} \cdot \frac{1}{q_1} = \frac{1-\alpha}{\beta-\alpha} = \frac{k-\alpha}{k-\alpha^2} \\ \lim_{\beta \rightarrow \alpha} \frac{k-\alpha}{k-\alpha^2} &= \lim_{\alpha \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{k-\alpha}{k-\alpha^2} \right) = -\frac{1}{2}, \quad \lim_{\beta \rightarrow \alpha} \frac{k-\alpha}{k-\alpha^2} = -\frac{1}{2} \end{aligned} \right\} \quad (k=1) \quad (7-25)$$



以上のことから、 $\alpha \cdot \beta = 1$ を制約式として設定する場合には、蓄積困難度と輸送困難度が等しいときにも物理的な意味に相應するように図7-7の操作をおこなうことが可能である。

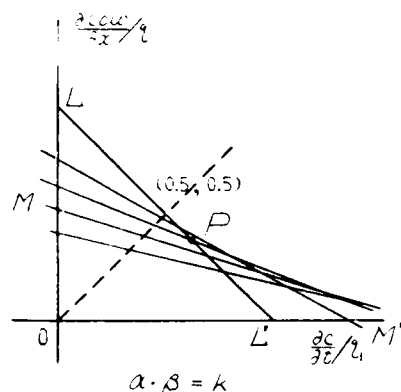


図 7-7
蓄積項と輸送項への配分率

つぎに、隣接するいくつかの地区の間の流動をとりあげ、式(7-5)、(7-6)を連立して解く方法と関連を有する二つの方法について検討する。

図 7-8 のように、基本的な 4 メッシュ系をとりあげると、おのこの蓄積増加量、輸送量からなる $4 \times 3 = 12$ の変数が設定される。ここに、 y_{kl}^{ij} は (i, j) メッシュより (k, l) メッシュへの輸送量であり、ひとまずメッシュ相互間に同時に反対方向の流動を認めるものとし、他方、 x_{ij} は (i, j) メッシュにおける蓄積増加量を意味する。記号の変更に対応して、物質収支式と運動式とは、たとえば $(1, 1)$ メッシュについて表現すると、

$$x_{11} + y_{12}^{11} + y_{21}^{11} = q_{11} \quad (7-26)$$

$$\alpha_{11} \cdot x_{11} + \beta_{12}^{11} \cdot y_{12}^{11} + \beta_{21}^{11} \cdot y_{21}^{11} = q_{11} \quad (7-27)$$

のようになる。隣接するメッシュの輸送困難度 β_{kl}^{ij} 、 β_{ij}^{kl} の間には、流動の経路が共通することと一方の流動の起点が他方の流動の終点となっていることから、なにかの関係があると考えられる。いま、それらの間にア priori に関係式が与えられるものとする、基本 4 メッシュ系では 4 つの関係式があらたに加わることとなる。

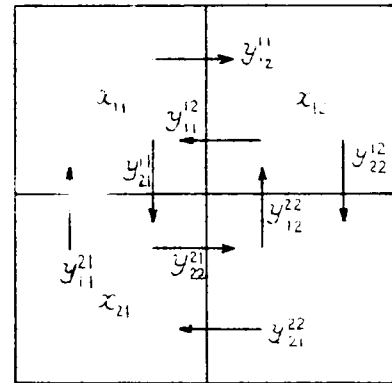


図 7-8 廃棄物の配分の検討のための基本 4 メッシュ系

$$f_{kl}^{ij}(\beta_{kl}^{ij}, \beta_{ij}^{kl}) = 0 \quad (7-28)$$

しかし、変数の数は困難度の 12 を加えて 24 であるので、上記の関係式 4 つ、物質収支式 4 つ、運動式 4 つの計 12 との差である 12 個の関係式をさらに必要とする。隣接するメッシュにおいて、一方からの流出量は他方への流入量となっていると考えることができるので、隣接するメッシュ間で最終的に次の式が成立することを条件として加える。

$$y_{kl}^{ij} - y_{ij}^{kl} = 0 \quad (7-29)$$

ひとつのメッシュ地区の困難度 α_{ij} 、 β_{kl}^{ij} 、 β_{ij}^{kl} に関して独立の制約式が 2 組ずつ成立することによって、未知数と式の数が同じとなり、廃棄物のそれぞれの配分量が決定されることとなる。

$$g(\alpha_{ij}, \beta_{kl}^{ij}, \beta_{ij}^{kl}) = 0 \quad (7-30)$$

式(7-30)が各メッシュ地区ごとに 2 組ずつ線形型式で与えられ、また式(7-28)も同様に線型であるとすれば、一応は困難度は決定され、それらをもとに式(7-29)と収支式と運動式を連立させて配分量が決定される。

$m \times n$ の大きさをもつ長方形メッシュ地域において、配分量が仮りにもとめられているものとして、逆に困難度を算定することを検討する。変数は $5mn - 2(m+n)$ 個の困難度であり、これに

して、まず物質収支式が mn 個、運動式が mn 個、輸送困難度の隣接メッシュ相互間の関係式が周辺メッシュの効果により $2mn - (m+n)$ 個だけ設定される。一般には各地区の蓄積困難度と輸送困難度との間に 2 組ずつの計 mn 個の関係式が与えられることによって、未知数よりも条件式の数の方が多くなり、それぞれが独立でかつ 1 価関数であるかぎりにおいて一意的な解が存在するか、もしくは解が存在しないこととなる。(端的には解が不定となることはないことを示している。)

$$x_{ij} + y_{(i-1),j}^{ij} + y_{(i+1),j}^{ij} + y_{i,(j-1)}^{ij} + y_{i,(j+1)}^{ij} = q_{ij} \quad (7-26)$$

$$\alpha_{ij} \cdot x_{ij} + \beta_{(i-1),j}^{ij} \cdot y_{(i-1),j}^{ij} + \beta_{(i+1),j}^{ij} \cdot y_{(i+1),j}^{ij} + \beta_{i,(j-1)}^{ij} \cdot y_{i,(j-1)}^{ij} + \beta_{i,(j+1)}^{ij} \cdot y_{i,(j+1)}^{ij} = q_{ij} \quad (7-27)$$

$$f_{k,l}^{ij}(\beta_{k,l}^{ij}, \beta_{i,j}^{k,l}) = 0, \quad ((k,l) = (i-1,j), (i+1,j), (i,j-1), (i,j+1)) \quad (7-28)$$

$$g(\alpha_{ij}, \beta_{(i-1),j}^{ij}, \beta_{(i+1),j}^{ij}, \beta_{i,(j-1)}^{ij}, \beta_{i,(j+1)}^{ij}) = 0 \quad (7-30)$$

以上の方法をもとにして、現状の廃棄物の流動状態を観察することから困難度の分布を推定することは可能である。

もし、困難度も配分量(蓄積増加量と輸送量)も変数とする場合には、形式的には $10mn - 4(m+n)$ 個の未知数に対し条件式がかなり不足する。しかも、困難度自身の決定を内部に含む方式では、困難度や配分量の分布からある種の特性を把握して困難度を試行的に変化させることが事実上はできなくなるので、困難度の決定につづいて配分量の決定をおこなう 2 段階操作の手続を選ぶことが望ましいであろう。

すなわち、困難度の数は $5mn - 2(m+n)$ 個であるから、これにたとえば、

$$\alpha_{ij} \cdot (\beta_{(i-1),j}^{ij} + \beta_{(i+1),j}^{ij} + \beta_{i,(j-1)}^{ij} + \beta_{i,(j+1)}^{ij}) = \pm 1 \quad (7-31)$$

の形の地区ごとの困難度に関する制約式 mn 個に加えて、 $2mn - (mn)$ 個の関係式(7-29)が設定できれば、 $2mn - (mn)$ 個のいずれかの困難度の値を与えることによって、一応はすべての困難度の値が決定される。この段階で異常な値が見いだされたならば、修正をおこなって全体的なバランスを保つようにする。

ついで、得られた困難度の値を代入した mn 個の物質収支式と同数の運動式に加えて、 $2mn - (m+n)$ 個の式(7-28)を設定しても、必要な条件式として $mn - (m+n)$ 個の式が不足しており、一意的な解は得られない。対象としている長方形メッシュ地域よりひとまわり小さい $(m-1) \times (n-1)$ の大きさのメッシュ地域に対して、輸送割合に対する独立な制約条件式を $mn - (m+n)$ 個だけ与えることによって配分量は決定されることになるが、この与えるべき条件式の数についての物理的意味は不明確で説得力に乏しい。

結局、困難度と配分量を変数とする場合においても、困難度を与えて配分量のみを変数とする場合においても、困難度の意味に則した implicit な表現である多元連立方程式を解くことによって

配分量を決定することは非常に困難である。逆にいうと、各地区ごとに式(7-5), (7-6)あるいはその修正モデルを用いてexplicitに配分量をもとめる手続きは, implicitな方法でみられた制約条件式の相対的不足を考慮して, 地区の計算の順番などに影響されない形式としなければならない。この点については, 7-4-3 においてさらに検討することとする。

一方, 基本式である式(7-6)は当初は連続現象としての視点から表現されたものであり, 二次元に拡張された対象の微小部分に対する一般的な関係として成立するかどうかの検討を要する。図7-9を参考にして, 微小部分における物質収支をとると次式が成立する。

$$\Delta C \cdot \Delta x = \left\{ Q_x - \frac{\partial Q_x}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} - \left(Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right) + Q_y - \frac{\partial Q_y}{\partial y} \cdot \frac{\Delta y}{2} - \left(Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \cdot \frac{\Delta y}{2} \right) \right\} \cdot \Delta t + q \cdot \Delta t \cdot \Delta x \quad (7-32)$$

もし, 微小部分の諸量にも, 式(2-30)と同様に, 潜在的価値が設定され, それが保存されるとすれば, 流入側の係数に $-$ をつけると,

$$\alpha \cdot \frac{\Delta C}{\Delta t} + \beta_x(x - \frac{\Delta x}{2}, y) \left(Q_x - \frac{\partial Q_x}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \right) + \beta_x(x + \frac{\Delta x}{2}, y) \left(Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \right) + \beta_y(x, y - \frac{\Delta y}{2}) \left(Q_y - \frac{\partial Q_y}{\partial y} \cdot \frac{1}{2} \right) + \beta_y(x, y + \frac{\Delta y}{2}) \left(Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \cdot \frac{1}{2} \right) = q \quad (7-33)$$

のように表示される。

式(7-33)が二次元の基本式として, 式(7-6)と同様に次のように表現されるための条件式は式(7-35)~(7-36)'である。

$$\alpha'' \frac{\partial C}{\partial t} + \beta_x'' \cdot \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \beta_y'' \cdot \frac{\partial Q_y}{\partial y} = q \quad (7-34)$$

$$\beta_x(x, y) + \beta_x(x, y) = 0 \quad (7-35)$$

$$- \frac{\partial \beta_x}{\partial x} + \frac{\partial \beta_x}{\partial x} = 0 \quad (7-36)$$

$$\beta_y(x, y) + \beta_y(x, y) = 0 \quad (7-35)'$$

$$- \frac{\partial \beta_y}{\partial y} + \frac{\partial \beta_y}{\partial y} = 0 \quad (7-36)'$$

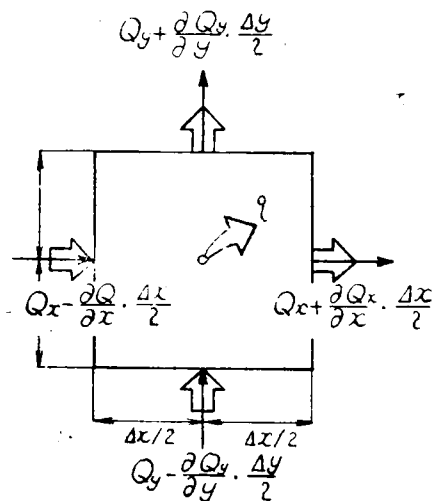


図 7-9 微小部分における物質収支

すなわち, 輸送の困難度 β の x 軸方向の成分 β_x と y 軸方向の成分 β_y に関して, それぞれ, 輸送の向きが流入の場合と流出の場合とでは符号が逆で絶対値が等しくなるだけでなく, その微分値は流入, 流出にかかわらず同一となるような分布となっていることが必要である。逆に, 式(7-35)~(7-36)'が満たされるように輸送の困難度の値が与えられている場においては, 式(7-34)は連続場においても適用されうることになる。

7-2-2 廃棄物の配分からみた環境容量に関する検討

前項に示した廃棄物の配分方法では、蓄積ならびに輸送の困難度がきわめて大きい位置をしめているにもかかわらず、その値を規定する因子については述べていない。困難度を評価係数から具体的に決定する例を7-3のケーススタディで検討するが、それに先だって、困難度に含まれている特徴的な一つ概念について考察を加える。

式(7-5)に示されている困難度は、蓄積または輸送に際して廃棄物を受け入れることに対する技術的、社会的な困難の程度を抽象的に表現している。ここで抽象的というのは、現実には廃棄物の処理後の物質サイクルを考慮して地或間の廃棄物の流動と蓄積を決定しているのではないし、加えて廃棄物の配分が自然科学的な面だけで実施されるべきでないことによるものである。蓄積するにせよ、輸送するにせよ、形態は変化しても最終的にはいずれかの地或、環境空間が受け入れざるを得ないので、受け入れ量ならびに受け入れの際の質的な形態に関する基準の検討が平行しておこなわれなければならない。

潜在廃棄物としてみることができるのはかならずしも固相の物質だけではないが、気相と液相の人工的な潜在廃棄物は相対的に少なく、固相からの転換分を含めて完全廃棄物となった段階で二つの相が大きな役割をはたすこととなる。その主たる役割は自然環境を構成する大気と水が物質を移動させる機能をもつことにあるとされ、衛生工学の分野でもおおかたの視点がそこにおかれてきた。希釈機能と自浄作用に期待することによって、最初の段階では汚濁物の排出基準が設定される。ついで、自然環境である大気と水系について、いくつかの指標をもちいて環境基準が定められる。一律的な環境基準に対して、河川ごとの線的基準や大気や海域の面的な基準への発展が検討され、環境基準と排出基準との関係について運動方程式(厳密に力のつりあいを示す式のみを意味しない。)を用いて考察が加えられている。

これらと関係をもちつつ、水、大気、さらに土壌などの環境が汚染されない限度、受け入れることのできる総量としての環境の容量概念が形成されてきた。環境の受容能とも環境容量とも称される概念は、以上に述べたように環境の構造の把握が現状では全般的に不十分であるがゆえに、短期間のうちに普及したが、種々のとらえ方の差異が生まれて事実上は概念は統一されていない。

環境容量の考え方は、現状では次の三つにはば分類される。

(i) 自然環境の自浄作用、汚濁物の物理化学的、生物的分解作用に着目し、その作用が円滑におこなわれる範囲内での汚濁物の受容量を意味する。⁽²⁷⁾

(ii) 環境保全の行政上の目標を達成するための環境基準の設定と総量規制を意味する。⁽²⁸⁾

(iii) 物質サイクルが複合している環境に対して、サイクルの各段階で基準を設定し、それらの関係を重層的に組み立ててゆくことによって、各段階の容量を評価するような構造を明確にすること。^{*}

^{*} 末石は潜在廃棄物の蓄積によって環境容量が飽和されるという視点から、人口流動を指標として環境容量を論じている。⁽³⁵⁾ また、輸送からみた都市の環境容量についても検討を加えている。⁽⁴⁰⁾

いずれの考え方をとるのかをあらかじめしないと議論は混乱するが、それぞれの考え方にも検討すべきいくつかの課題があり、十分に熟成しているとはいえない。(i), (iii)の環境容量に対しては性急に機械的な適用をおこなうことは避けなければならない、単純な環境容量を用いて保存されるとした環境が実際には破壊されているという事態をまねくことは許されない。ここでは、環境容量という概念を理論化することが当面の課題であるとの認識の上につけて、基礎的な考察を進める。

5-3-3でのべた重合体モデルを物質サイクルに沿って考えると、流れの部分と相対的に静止した部分のそれぞれの状態が環境を具体的にあらわすことになる。対象としている指標物質によって環境の質を評価することに限定したとしても、一般的には一つの貯留部分が一つの環境を構成することにはならず、通常は貯留部分と流動(場所的変化のみを意味せず、代謝による質的变化をも含む)部分のいくつかの組で環境空間が構成される。図7-10の単位貯留部分の受け入れ量を検討するための断面量としては二つ、すなわち T_i と T_{i+1} が候補にあがる。単位空間 i に対する物質・エネルギーの流入量 T_i で空間

i の容量としての機能を表現したものを後進型容量、流出量 T_{i+1} で表現したものを前進型容量と呼ぶこととする。断面量を制御することによって管理される空間が断面量の前後のいずれにあるかという点から名付けたものである。容量基準はそれぞれ、 T_i/V_i 、 T_{i+1}/V_i で示されるが、空間 i がどのような状態の場合の T_i 、 T_{i+1} を採用すればよいかは空間 i によって異なるであろう。

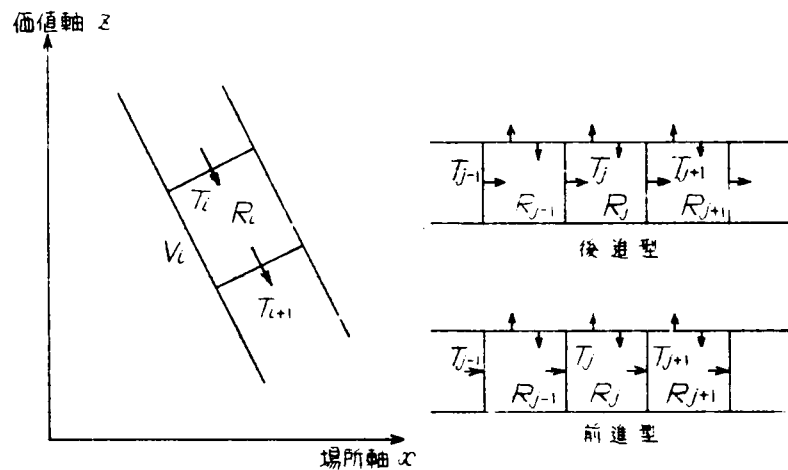


図7-10 物質サイクルにおける容量

それぞれ、 T_i/V_i 、 T_{i+1}/V_i で示されるが、空間 i がどのような状態の場合の T_i 、 T_{i+1} を採用すればよいかは空間 i によって異なるであろう。

排出基準は媒体流入量 q_c に対する媒質流入量 q_s の比、 q_c/q_s で表現され、環境基準は空間容積 V_k (または媒体量) に対する媒質の現存量の比 R_k/V_k であらわされる。後進型容量を組みたてて表現したものを分離型環境容量、前進型容量を組みたてて表現したものを包括型環境容量と呼び、その特徴についてはすでに論じられている⁸⁷⁾が、補助的な説明を加えておく。

分離型環境容量は環境に対する負荷量の基準を示すので、論理的にはきわめて明快であるが、基準が満たされない場合の施策を代謝の前段階にまで戻すための指針は示されない。逆に、包括型環境容量は環境のもつ代謝機能の結果としての生成物を基準としており、環境の変化と基準が直結している点が有利であるが、具体的にいくらの負荷量が許容されるのかは環境の構造がつねに内化

されていないと明確にはならない。

以上に述べた容量基準、あるいはその複合体としての環境容量は環境サイクルのどの段階で設定されるのかという点について考察してみよう。一般的には、対象としている指標物質系において支配的な化学的变化（化合、分解、etc.）が生じている部位、環境に与える影響から判断すると重大である物理的变化（希釈、混合、etc.）が生じている部位が、その第一の候補である。たとえば、有機性の固体廃棄物の場合には発生段階、収集段階、焼却段階、埋立地での分解段階などが注目すべき変化の段階であり、これらの前後に貯留空間と容量基準を考えることができるだろう。これらの断面では物質サイクルが以前とは異なった局面をみせているが、自然科学的な変態のみで容量基準の位置は決定されず、観測や監視といった計画面からの関与も無視できない。

容量基準をもつ空間の内部構造は、個々の場合について具体的に検討される必要があるが、共通的な要素として空間の担体のレベルを検討する。有機物の分解を例にとると、分解機能をつかさどるのは土壌中の微生物であるが、その個体の特性を直接的に容量基準とむすびつけることはできず、土壌を担体と考える方が妥当である。すなわち、個々の微生物の活動をあらわす因子によって補正された、種類別の土壌面積あるいは土壌容積に対する有機物の流動量（流入側は負荷量、流出側は分解量に相当）に容量基準を設定すべきであろう。しかし、さらに抽象的、包括的な地域や都市レベルの有機物に関する容量基準となると、単一の土壌ではないので、なんらかの指標で総合評価することが必要となってくる。この場合には空間の担体は森林面積のように、支配的な要素や評価に変換された抽象的指標（代謝現象の自然科学的な面からみて抽象的という意味）となる。

一般的には空間を容量基準という点で特徴づける担体にはいくつかのレベルがあるが、どのレベルで表現するとしても最も根源的なレベルとの照合関係を明確にしておく必要がある。根源的なレベルでは設定された容量基準を守っておれば安全という意味で安定性、信頼性は高いが、実際の地域に適用する応用性には欠ける点がある。抽象化されたレベルでは、計画的に管理していく点で操作性に富んでいるが、安定性に欠けるところがあり、一定の容量基準以下に管理していても確実に安全が保たれているとはいえない。

環境サイクルは代謝方向に進むにしたがって、通常は合流がおこなわれ、次のサイクルに転入されるが、部分的には分岐も生じる。環境サイクルの各段階で設けられる容量基準は相互に関連を有すべきであり、ここで次のような単純な構造を想定して、検討を加えることとする。まず、おのおのの空間で環境面から許容される移動量として分解量を定め、代謝係数 K をも決定する。この許容分解量は時間的な変化もあるので単純に比較することはできないが、図 7-11 のように、単位時間あたりの許容分解量に対してサイクルに沿った流れ図を作成する。

概念的には、このような方法で律速条件となっている空間や断面をみいだすことができるが、許容分解量を決定するためのアプローチは、各空間によって当然異なるであろう。図 7-11 において、

断面 S_3 の部分にかかわる環境容量を拡大することによって容量基準が緩和されたとすると、次の断面 S_4 の容量基準を越える状態をもたうす可能性がある。それゆえに、一部分の環境容量を技術的対策によって

拡大することが、その断面を通過する流れを強化し、結果として後段の環境容量を上まわる物質代謝をもたうす

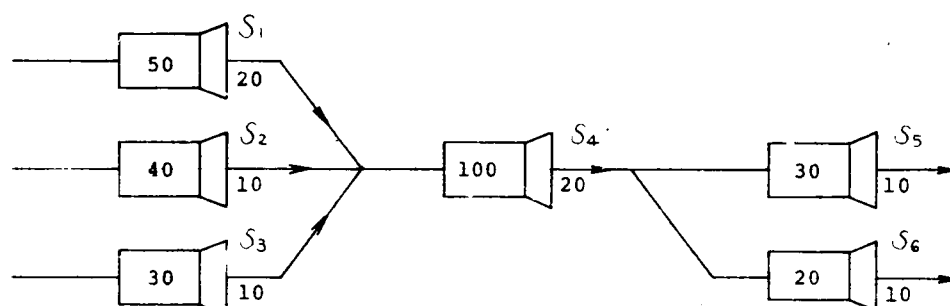


図7-11 物質サイクルに沿った容量基準の流れ図

危険性があることに注意しなければならない。下水処理施設からの余剰汚泥の処理が深刻化しつつあることも、このような点からみることが大切であろう。

理念的には後段のサイクル断面から順に、断面相互間の関係式をもとに基準値を定めてゆけばよいが、後段になればなるほど不明な点が多く、また、全面的に後段に依存している場合には基準を超過したときの対策はきわめて困難となる。この点からは、まずは安全率の導入が考えられ、安全率による基準値の割引（もしくは割増）に関与する要素としては、i) 将来の流動量、蓄積量の増加率、ii) 環境容量にかかわる基礎要因（たとえば前述の空間の担体）の質的・量的変化、iii) 緊急時を含む、基準スケール以下の動向、などがあげられよう。

重要な問題として、物質サイクルの後段に到ると緩速度の変化を示す指標が基準設定の対象となる傾向があり、環境に直接の影響があらわれにくくなることに注意が必要がある。この点は自然環境の機能のなかにも見いだすことができ、もし物質サイクルの後段部に依存する場合に、環境破壊のあらわれを初期のうちに認識できなければ、きわめて危険な結末をむかえることとなる。重金属の生物体内での蓄積、濃縮現象は、後段部からの再循環によって前段部に悪影響を及ぼす一例である。このような場合には、その段階以前に容量基準が設定されるべきで、たとえば図7-11の S_4 が相当する場合には、貯留量 100 をもつ空間が直接の対象になるが、 S_1 、 S_2 、 S_3 の前段階の空間も同時に規制の対象となる。

前項で提示した廃棄物の配分法に則して容量概念を検討することとする。従来の分離型の、しかも一点基準的な環境容量の考え方からすると、配分法において相対的評価係数らが 1.0 となる状態が容量飽和に相当するものと考えられよう。しかし、環境容量の概念そのものは、単純な閾値的な解釈をするだけでは不十分で、評価されたいくつかの段階に応じて一定の指針、基準がみいだされるものであることが望ましい。健康に直接害を与えないための基準というように、ある特徴的な段階の基準が設定されたとしても、その基準よりも良い環境の質がその基準まで悪化することを防止、

制御しうることが必要となる。この点では、廃棄物の配分法には $\alpha = 1.0$ を頂点として、それにいたるまでの状態をらで評価することにより、廃棄物の地域配分の基準を提示している。しかし、この構造は環境容量とよびうるほどに熟成したものではなく、今後いくつかの点で新たな計画構造の組み立てを必要とする。

まず重要なことは、図 7-11 で示したような物質サイクルの各段階で設定される容量概念が廃棄物の配分方法にのみならず、単独の廃用過程での評価にとどまっている。第 8 章では、質的代謝軸方向の変化に対する困難度 α^* , β^* をも導入して、場所的流動と質的代謝を同時に評価する方向を示し、また、7-4-3 では顕在化した廃棄物が決定される過程をも含めて、2 つの代謝係数 K_2 , K_3 によって表現し、解析を試みる。これらのアプローチをさらに展開させて、物質サイクルの各断面での容量概念を環境容量として組み立ててゆくことが必要と考えられる。

本項のはじめに述べた 2 つの環境容量の考え方を参照すると、廃棄物の配分法にみられる容量概念はやはり分離型であると考えられる。すなわち、効用空間をひとつの前段階空間として考えるのではなく、廃用量という断面量を次の空間である顕在廃棄物占有空間へ転入させるか、それとも輸送するのかという点を検討しているのである。一方、容量概念の与え方として、その断面量あるいはそれが占有空間で占める量に対して基準を定めているのではなく、それを支配もしくは計画的に律すべき α, β の値、さらにそれを決定する相対的評価係数 α があらわしている因子に対して基準を設定していることに留意する必要がある。

7-3 廃棄物の地域配分に関するケーススタディ

7-3-1 配分法にかかわる因子からみた対象地域の概要⁸¹⁾

ケーススタディの対象地域としては、断面流動調査を実施し、部分的には航空写真調査をも実施している富山県域を選定した。このケーススタディの第一の目的は、すでに示した廃棄物の地域配分モデルと具体的な数値をもとに考察するとともに、その構造の良否を実際の地域との関連で検討することにある。検討の視点は、モデルの各項やパラメータの値が実測しうるのかという基本的な点から、環境計画の重要な方法としてみた場合の制御の可能性という将来的課題をも含めて、できるだけ広範囲な面におき、基礎的考察を加える。

7-2-1 の式 (7-5) の蓄積困難度と輸送困難度の第一段階の値については、評価係数らの値より定めるとしたものの、相対値をとる評価係数として採用すべき因子はまだ定められていなかった。潜在廃棄物と完全廃棄物の流動を基本的な視座にすえた部分ということから、採用すべき因子の範囲はかなり制限されてくるが、一般的には試行の結果で新たに重要因子がとりあげられる可能性を否定できない。すなわち、困難度を決定する評価因子と配分法の構造とが相互に依存しあっているので、たえず、他方の検討結果を反映させなければならない。評価係数らを決定する方法としては、多くの候補をあげてそれぞれの独立・従属性と因果関係を検討し、他の多くの因子に対して原因と考えられる因子を選ぶことが提案されるであろう。逆に、大部分の因子から影響を受ける因子を選択することが、種々の因子の変動を相殺して、結果として安定性の高い配分法を生み出す可能性もある。7-4-2 で配分法における因子の検討をおこなうが、いずれにしても漸進的に修正することが必要であるから、ひとまず、重要と考えられる因子で量が測定されているものについて、対象地域の概要の説明をおこなう。

富山地域の道路交通の現状は 3-5-1 ですでに述べたが、基本的骨格を再述する。日本海に面する以外の東・西・南の各方向に、8 号(東)、8 号(西)、156 号(南)、41 号(南)の主要国道が走っている。鉄道も同様に東西方向に北陸本線があり、この地域を中京地方とむすぐ高山本線とともに大幹線を構成している。初流の点からは富山空港などを經由する航空輸送は無税できるが、新湊港と富山港などを經由する船舶輸送には注意をはらう必要がある。地形的な特徴としては、数本の大きな河川が下流の農業用水や生活用水を供給することによって流域としての一体性を形づくっているが、他方で東西方向の交通を妨げることによって地域を分割する方向にも働いていることとまずあげることができる。土地利用の現状を図 7-12 に示すが、背後に広大な森林を有し、平野部の海岸に近い部分に都市が形成されている。富山、高岡両市を核として臨海工業地帯としての姿を見せている反面で、面積的にはかなりの部分で過疎の状態となっている。表 7-1 は潜在廃棄物環境に関しても基礎的因子である人口、農林水産業出荷額、製造業出荷額などを示したものである。顕在化した廃棄物のなかでは固体系のしめる量的割合が大きいので、製造業からの三群^{*}の固体廃棄物と

* 比較的無害の有機物(A分類)、比較的無害の無機物(B分類)、有害な無機ならびに有機物(C分類)

家庭ゴミの発生推定量を図7-13に示す。

5-5で述べた質問紙調査によって判明した、事業所敷地内での原材料の野積量と産業廃棄物の野積量を示したのが図7-14であり、いずれも製造業の立地によって分布が規定されている。調査に回答した事業所の製品出荷額は全体の約66%であることを考えると、廃棄物野積量合計は確認された52万トンよりかなり多いであろう。野積の理由の約23%が「工場敷地が広いから」であり、その他の理由のかなりの部分も土地空間が広いことを背景としている。廃棄物の配分問題や環境容量の概念においても、土地空間の広さや土地利用の余裕度という因子は重要であり、当然、高密度地域と低密度地域ではそれらは大きく異なっているであろう。

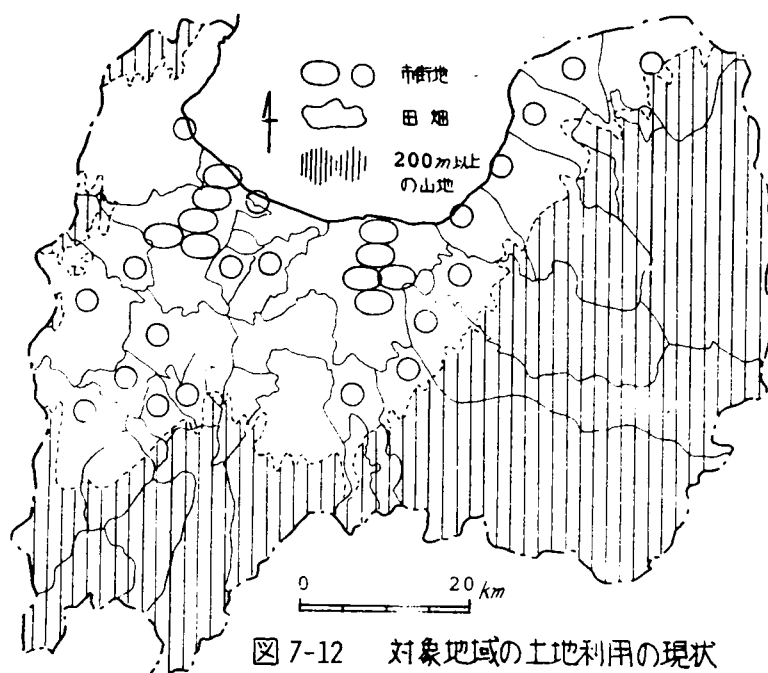


図7-12 対象地域の土地利用の現状

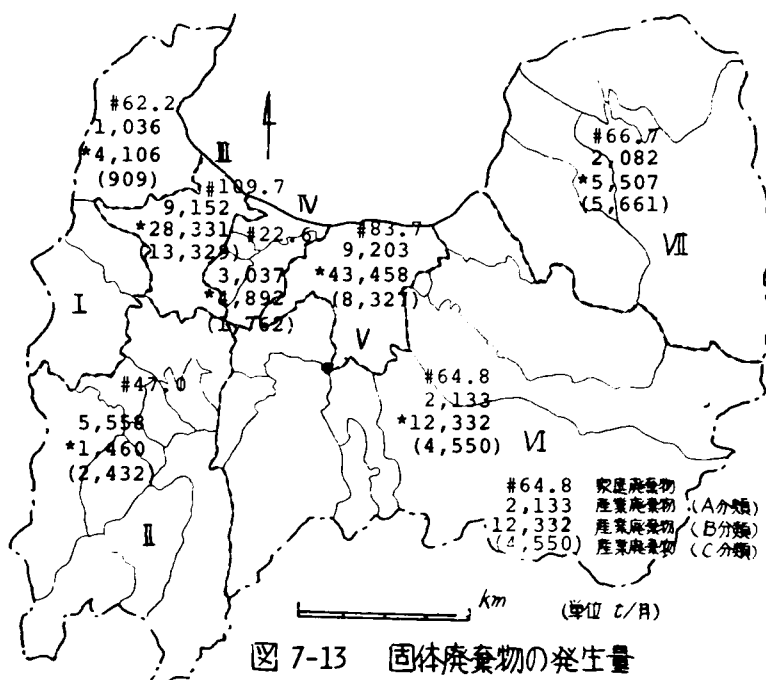


図7-13 固体廃棄物の発生量

表7-1 人口と産業活動の水準

(1970)

地区	項目	人口	面積	製造業年間出荷額	農産物年間出荷額	林産物年間出荷額	水産物年間出荷額	備考
I		108	422	377		—		
II		2,029	1,548	684		—		
III		1,578	151	1,895		—		
IV		1,191	184	609	633	—	70	
V		2,664	213	2,216		—		
VI		2,220	2,020	751		—		
VII		2,203	1,561	969		—		
		$\times 10^2$ 人	km^2	$\times 10^8$ 円	$\times 10^8$ 円		$\times 10^8$ 円	

潜在廃棄物の現存量を、構造物の種類や土地利用形態の地域特性を考慮して、全地域にわたって算定することは困難で、当面は基礎的な種類ごとに原単位の存在を仮定して、それを乗じる被乗数 (multiplicand) による比較・検討をおこなわざるを得ない。この被乗数の候補としては、まず建物床面積、人工的に被覆された土地面積が考えられるので、表 7-2 に単位面積あたりのそれらの割合を示す。

一方、輸送された廃棄物の貯留あるいは処理のために必要な土地の候補地として満たすべき条件は多いが、一つ一つの場所を定める前段階として広い地域のどの部分に廃棄物を配分すべきかという問題を設定しよう。この場合には、候補地としての条件を自動的にほぼ満足している因子や、その条件の成立が自らの存立基盤となっている因子に関しての検討を先行すべきである。廃棄物処理場の立地に関する因子として自治体によっ

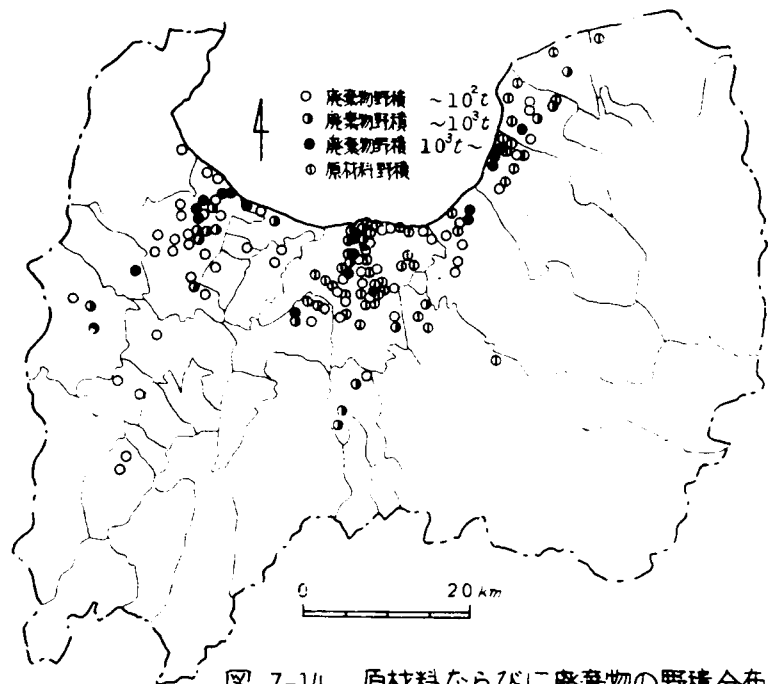


図 7-14 原材料ならびに廃棄物の野積分布

表 7-2 潜在廃棄物の現存量の関連指標の値

因子	地区 I	地区 II	地区 III	地区 IV	地区 V	地区 VI	地区 VII
建物床面積率* m^2/m^2	3.6	4.2	14.8	5.8	13.7	1.1	1.3
人工被覆率* m^2/m^2	5	8	21	9	20	2	2

* 10^{-1} と乗じた値である。

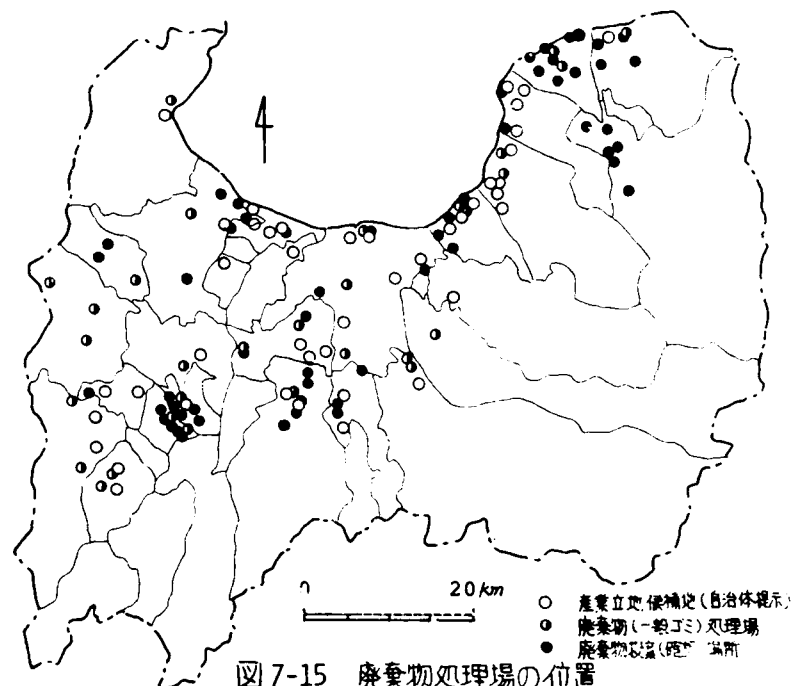


図 7-15 廃棄物処理場の位置

て選定されている工場適地をあげ、家庭廃棄物の処理場の分布とともに、図 7-15 に示す。不法投棄された廃棄物やすでに顕在化しているにもかかわらず生活環境に残留している廃棄物は、直接に環境に悪影響を与えるという点からも、また、廃棄物配分の具体的実行手段である収集輸送がそれらを対象としておこないうるという点からも、配分問題にとって欠くことのできない因子である。ひとまず、自治体の関係者に対する聴取によって確認された廃棄物の好ましくない投棄場所を図 7-15 に付記しているが、これは、航空写真調査を含む環境の直接評価法によってマイナスの効用をもたらす廃棄物の現存状態が把握されるならば、それによってとってかわられる性格のものである。

7-3-2 二、三の因子にもとづいた廃棄物の地域配分例⁽²⁶⁾

対象地域の分割のしかたは、それ自身が重要な検討課題であり、7-4-1 において詳しく論じるが、第一段階のアプローチとしては富山県における河川の自然地形上にしめる位置を考慮して次のように定めることとする。主要な河川に平行している市町村境界によって東西方向を数ブロックにわけ、海岸線より離れた山間部で集落の多い地域をIブロックとして独立させる。

配分にかかわる因子として、表7

表 7-3 評価係数とその相対的尺度

-3 に示す 8 つの因子をとりあげ、それぞれの富山県下の値の分布を参考にしつつ相対尺度を作成した。流動物質中の廃棄物濃度は、各ブロックと隣接ブロック間の主要道路における自動車輸送物資のなかに占める廃棄物の割合として

			5	4	3	2	1	
1	流動物質中の 廃棄物濃度	A	4 ~	3 ~ 4	2 ~ 3	1 ~ 2	~ 1	%
		B	4 ~	3 ~ 4	2 ~ 3	1 ~ 2	~ 1	%
		C	2.0 ~	1.5 ~ 2	1 ~ 1.5	0.5 ~ 1	~ 0.5	%
2	交通容量に対する飽和率		1.2 ~	0.9 ~ 1.2	0.6 ~ 0.9	0.3 ~ 0.6	~ 0.3	
3	輸送距離		40 ~	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	~ 10	km
4	廃棄物発生密度	A	50 ~	30 ~ 50	10 ~ 30	5 ~ 10	~ 5	t/(km ² ・日)
		B	50 ~	30 ~ 50	10 ~ 30	5 ~ 10	~ 5	t/(km ² ・日)
		C	~ 5	5 ~ 10	10 ~ 30	30 ~ 50	50 ~	t/(km ² ・日)
5	工場適地数の割合		~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~	(1000 km ² あたり)
6	不法投棄場数の割合		20 ~	15 ~ 20	10 ~ 15	5 ~ 10	~ 5	(1000 km ² あたり)
7	廃棄物野積密度	A	40 ~	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	~ 10	t/10 km ²
		B	200 ~	150 ~ 200	100 ~ 150	50 ~ 100	~ 50	t/10 km ²
		C	50 ~	40 ~ 50	20 ~ 40	10 ~ 20	~ 10	t/10 km ²
8	森林面積率		~ 15	15 ~ 35	35 ~ 65	65 ~ 85	85 ~	%

比較されている。交通容量に対する飽和率とは、片道1車線あたりの基準値(4500台/昼間12時間)に対する現状の全交通量(片道1車線あたりの台数)の割合であり、各ブロックと隣接ブロックの主要な交通調査地点での平均値に対して相対値らが決定される。同様に輸送距離も当該ブロックの面積重心より隣接ブロックの面積重心までの距離で表現される。以上の三つの因子は輸送困難度

のみにかかわるが、流動物質中の廃棄物濃度が輸送の方向によって変化するのに対して、輸送距離は発着地のブロックを交換しても変わらず、交通容量飽和率もここでは往復交通を等しく算定していることから輸送量が等しい限りにおいては変らない。いずれも値が増加するに従い、輸送困難度は増加しており、表では算スケールの表現をおこなっている。

廃棄物発生密度が高いと廃棄物の処分のためにブロック外へ輸送しようとする圧力が強くなる一方、処理のためにはある程度は集中することが望ましく、かつ、廃棄物の種類によって事情は異なっている。有機性の廃棄物のいくつかにおいては、量的過負荷に注意すれば、自然の浄化能力に人工的補助を加えることによって自然循環のなかにとりこむことも可能であるとの見地から、ある程度の分散がおこなわれるように比較的無害の有機物に関する相対的評価係数らの値は発生密度に対して過増させた。有害な廃棄物では、少量発生源の近くに集約することが大切で分散することは危険であるから、発生量の多いブロックでの蓄積ならびにそのようなブロックへの輸送を促進するために、ちと発生密度とを反比例においている。比較的無害と考えられる無機物についても、無害の有機物の場合と同様にちと発生密度に対して過増させたが、それらの値の対応は絶対的なものではない。たとえば、発生量の一定の範囲が配分目的にとって都合のよい場合には、発生密度のある値に対してちとが極小となるというような複雑な設定も意味があるであろう。これらのことと含め、因子の選択から困難度の決定にいたる過程の種々の問題については次節で再び検討する。

工場適地数はブロック内での処理・処分への立地可能性を示す因子として用いており、適地数の多いブロックへの輸送を促進するように働いている。不法投棄された場所の数は環境の質を包括的に示す因子であって、一般に広域にわたる観測は困難であるが、航空写真の利用と地上での調査を組みあわせることによって把握することは可能である。のちに説明するように、森林面積や廃棄物野積量とともに、不法投棄場所の確認あるいは投棄量の概略的把握に際しては航空写真調査が有用であり、ここにも計画的な検討・考察と環境調査との密接な関係があらわれている。投棄による環境の劣化がその規模と場所的条件ならびに投棄物の種類によって異なることを、ちの評価に導入することが必要であるが、調査の進展状況の制限から概略的な尺度化をおこなった。

森林面積は、自然の環境容量と深い関係をもつ重要な量的因子である。森林は緑色植物の最も大規模な群生であり、緑の効用を考える上では支配的な植生である。4-2-2で紹介した緑色植物の活力度という概念は早急に組み入れる必要があるが、ここではきわめて単純に、森林面積が大きければ廃棄物の受け入れ可能量が増加し、蓄積困難度を低下させるものとしている。

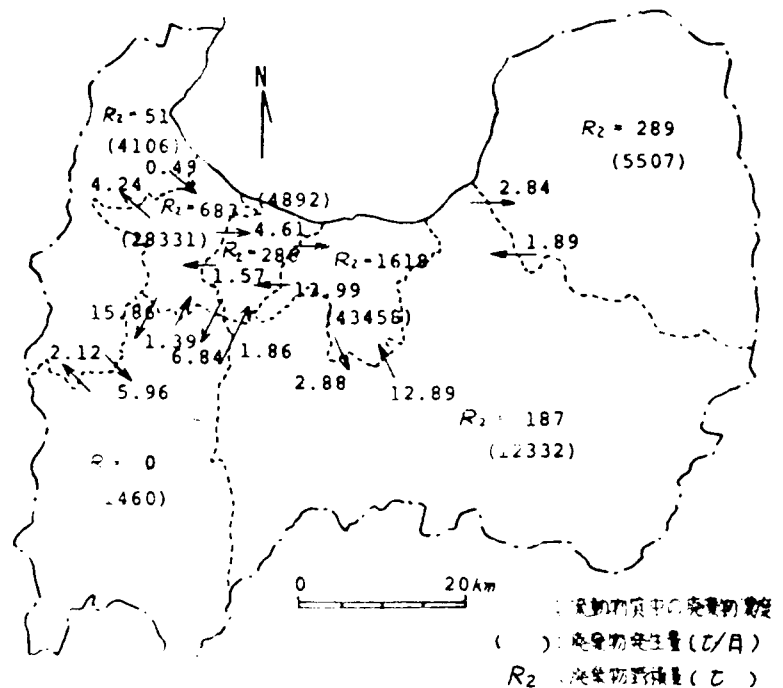
以上の4つの因子は蓄積困難度を算定するのに用いられる一方、当該ブロックと隣接ブロックの値を用いて輸送困難度を算定するのににも用いられ、ちの小さいブロックへと輸送されることになる。

廃棄物野積量は、廃棄物の発生源において輸送と蓄積に関する一定の評価を下した結果として、

蓄積へ配分された量の積分値であると考えられ、特別な意味をもっている。過去の配分の履歴を示しているともいえるので、この因子を用いた配分によって過去の平均的動向を踏襲することが可能であろう。ここでは廃棄物野積量の増加が蓄積困難度を増すように相対値の値を定めており、三種類の廃棄物とも値は異なるが、いずれも算スケールとしている。

まず、比較的無害の無機物であるB分類の廃棄物を対象として、蓄積困難度を規定する因子として廃棄物野積量を、輸送困難度を規定する因子として流動物質中の廃棄物濃度を選んで配分量を算定する。式(7-6)の右辺の q_i として製造業からのB分類廃棄物の月間発生量をとり、各ブロック

ごと一値は図 7-13 の値を用いた。廃棄物発生量の全量を隣接ブロックに仮想的に輸送したときにあらわれると予想される廃棄物濃度の増加量を、図 3-22 に示した全物質流動量を基準として算定した。この流動物質中の廃棄物濃度と各ブロックの廃棄物発生量、ならびにB分類廃棄物の野積量を図 7-16 に示す。これらの値に対応する相対的評価係数の値を表 7-3 を用いて定めると、結果は右の図のようになる。蓄積に関する α の値を式(7-10)に代入して蓄積困難度を得て、輸送に関する β の値を式(7-12)に代入して輸送困難度を算出する。これらの困難度 α_i, β_i より、各ブロックの蓄積項と輸送項の配分割合を決定する過程は、すでに 7-2-1 で述べたが、それに基づいた計算の経過を参考のために表 7-4 に示す。式(7-



	(0.6)	(0.4)	(1.0)		
(0.2)	3	2	5	(0.2)	(0.4)
I			V		
1	(0.2)			1	2
	1				
I			VI	VII	
蓄積項のちと図題表 α				(0.4)	
				2	

1	(1.0)	(0.41)	(0.0)		
(0.14)	5	3	5	3	5
I	5	2	5	5	5
5	2	(0.27)	(0.27)	3	(0.46)
I	3	(0.36)		VI	VII
輸送項の β					

ケース 1: 廃棄物野積量から蓄積の困難度を、流動物質中の廃棄物濃度から輸送の困難度を算定。

図 7-16 B分類の廃棄物を対象とするケース 1 の困難度

12)の設定では

一つの隣接ブロックとの間で両方向への流動は認められないが、多数の隣接ブロックとの間で流動可能な方向が複数ある場合には、各組ごとに独立して計算を進め、最終的には各組の蓄積項ならびに輸送項への配分率の比

で発生量を分割している。

配分結果を示したのが図 7-17であるが、全体的傾向としてブロックⅢ、Ⅴへの集中が目立ち、ブロックⅢ、Ⅴにおいて、域外への流れ（ブロックⅢでは10,766、Ⅴで21,229ton

／月）が生じているのは次の理由による。式(7-12)でちより β_i をもとめる際に、輸送に關するちの大きい方より小さいブロックへのみ輸送を認めるものとしたにもかかわらず、 β_i の最大値が1.0におさえてあるために $\beta_i=1.0$ にもなって輸送項への形式的な配分が生じる。この輸送項への配分量は、もともと隣接するブロックへの輸送は困難である（隣接ブロックへ輸送する場合のちより、隣接ブロックからの輸送を想定する場合のちの方が小さい。）ことを前提としながらも、蓄積することも困難であるために蓄積項へも配分されない量であるといえる。蓄積自身は、すでに述べたように、貯留に続いて一定の処理を受けることを含む操作であるが、通常の輸送項にも通常の蓄積項にも配分されない廃棄物は、より高度の処理・処分が要求されるものと考えられることができるだろう。このような見地からブロックⅢ、Ⅴをみると、隣接ブロックへの輸送ができない上に蓄積量にも制限があるために、かなりの量が他と異なった形で処理・処分される必要がある。蓄積量の割合が大

表 7-4 B分類廃棄物の配分表（ケース1）

	I	II	III	IV	V	VI	VII
α_1	0.2	0.2	0.6	0.4	1.0	0.2	0.4
β_1	0.14	$\frac{0.36}{0.27}$ $\frac{0.27}{0.41}$	1.0	$\frac{0.27}{0.41}$	1.0	0.46	0.4
$\alpha_2 = 2 \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \beta_1}$	0.18	$\frac{0.71}{0.85}$ $\frac{0.85}{1.15}$	0.75	$\frac{1.19}{0.99}$	1.0	0.60	1.0
$\beta_2 = 2 \cdot \frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1}$	0.82	$\frac{1.15}{1.15}$	1.25	$\frac{0.81}{1.01}$	1.0	1.40	1.0
$\alpha_3 = \frac{\alpha_2}{2 - \alpha_2}$	1.44	$\frac{0.55}{0.74}$	0.60	$\frac{1.47}{0.98}$	-	0.43	-
$\beta_3 = \frac{\beta_2}{2 - \beta_2}$	0.69	$\frac{1.82}{1.35}$	1.66	$\frac{0.68}{1.02}$	-	2.33	-
$\frac{\alpha_3 - 1}{\beta_3 - \alpha_3}$	0.41	$\frac{0.65}{0.57}$	0.62	$\frac{0.41}{0.50}$	0.50	0.70	0.50
$\frac{1 - \alpha_3}{\beta_3 - \alpha_3}$	0.59	$\frac{0.35}{0.43}$	0.38	$\frac{0.59}{0.50}$	0.50	0.30	0.50
q t/月	4,106	1,460	28,331	4,892	43,458	12,332	5,507
$\frac{\partial C}{\partial t}$ t/月	1,683	871	17,565	2,226	21,229	8,632	2,753
$\frac{\partial(CU)}{\partial t}$ t/月	2,423	$\frac{171}{209}$	10,766	$\frac{1,443}{1,223}$	21,229	3,700	2,754
輸送方向	III	IV	IV	V	V	VI	VI

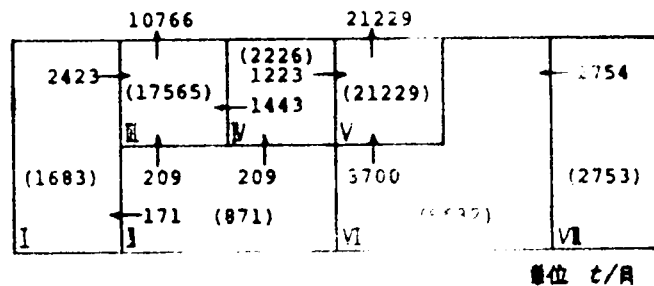


図 7-17 B分類廃棄物の配分結果（ケース1）

さいブロックはⅡ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅵであって、ブロックⅠではこれらのブロックの蓄積頂のちと同程度の値をもつにもかかわらず外部への流出を生じているのは、さらに輸送頂のちが小さくて輸送困難度が低くなっているからである。

つぎに、比較的無害な有機物であるA分類、有害な無機・有機の物質であるC分類の廃棄物を対象として、蓄積困難度に関する因子として廃棄物野積量を、輸送困難度に関する因子として流動物質中の廃棄物濃度を採用して算定した配分結果を図7-18に示す。A、B、Cの各分類の廃棄物は類似の輸送方向を示しているが、

蓄積量に対する輸送量の比の値は全体的にはBが最も大きく、C、Aの順に減少してゆく。

以上の検討をケース1とし、さらに、次の因子の組によって蓄積困難度ならびに輸送困難度を表現した場合の配分結果を続いて示す。

ケース2：（森林面積、輸送距離）

ケース3-a：（A分類廃棄物発生密度、工場通地数）

ケース3-b：（B分類廃棄物発生密度、工場通地数）

ケース3-c：（C分類廃棄物発生密度、工場通地数）

ケース4：（不法投棄場所確認数、交通密度に対する飽和率）

このうちケース2、4では輸送困難度の値が途中の経路の状態のみに支配されるので、式(7-11)を用いて β_i をもとめ、その他の場合には式(7-12)を用いて β_i を決定した。式(7-11)を用いて輸送困難度決定する場合には、隣接するブロック間でいずれの方向にも有限の β_i が与えられるので、ブロック相互間に輸送が生じる。これについては、その差を実質輸送量とし、相互に二重に計上されている部分は他と異なった形で処理・処理されることを要求されているものであるとの規則を設けることとする。^{*}たとえば、図7-19のケース3のブロックⅠ、Ⅲの間では、ⅢよりⅠへ8920 ton/月の実質的輸送がおこなわれ、いずれのブロックでも1816 ton/月の廃棄物が他と異なった高度な処理・処分を受ける必要がある。

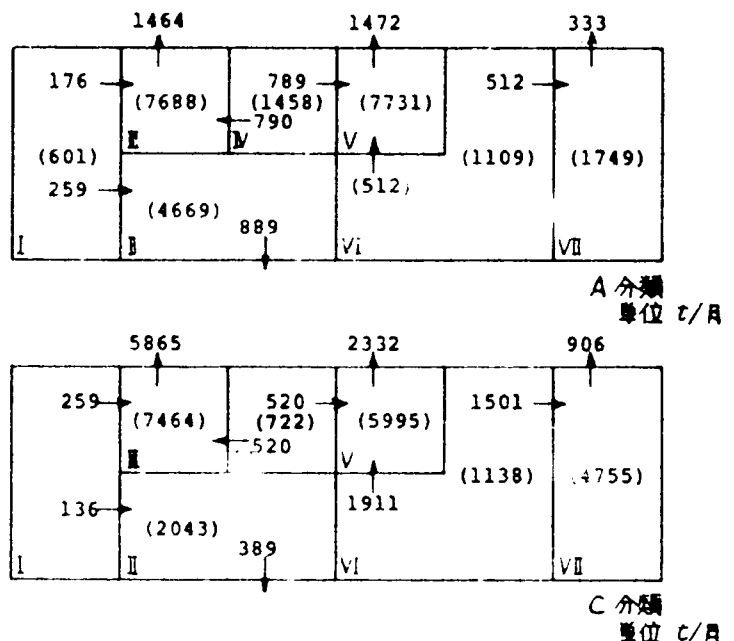


図7-18 A・C分類廃棄物の配分結果(ケース1)

* 同質の廃棄物を二つの隣接する地区の間で同量に交換することには意義があるとは考えられない。むしろ、互に排出しあうことは通常の輸送に用いられるよりも蓄積が困難であることと見做すであろう。7-4-1では貴重な見地から検討を加える。

廃棄物の配分結果は、図7-19のように示される。A, B, Cの3群にわけて廃棄物の配分計算をおこなった場合には、その結果を合算することによって、総括表(表7-5)が得られる。各ケースの配分結果と因子との関連について述べることにする。ケース3, 4の場合は、森林が広くて相対的に不法投棄場所の少ない、人口密度の低い地域へ廃棄物を分散させることを基調としている。そして、輸送の道路工学的な見地から、その合数の方向と量が決定されている。これに対してケース2の場合には、廃棄物野積量が多いこととともなって蓄積に制限が加わるようにしているにもかかわらず、近郊に資材の廃棄物濃度による制約が非常にきびしいために、多量発生ブロックであるⅢ, V地区の内部蓄積への配分量が多い。輸送困難度が大きいために比較的集約型の配分を示しているといえる。ケース2の場合は、配分値の分布・構成からみると中期的な位置にあるが、空間的余裕を有し工場適地を多くもつ地区に分散させることを意図しているので、そのような性格ともつ4地区への流入

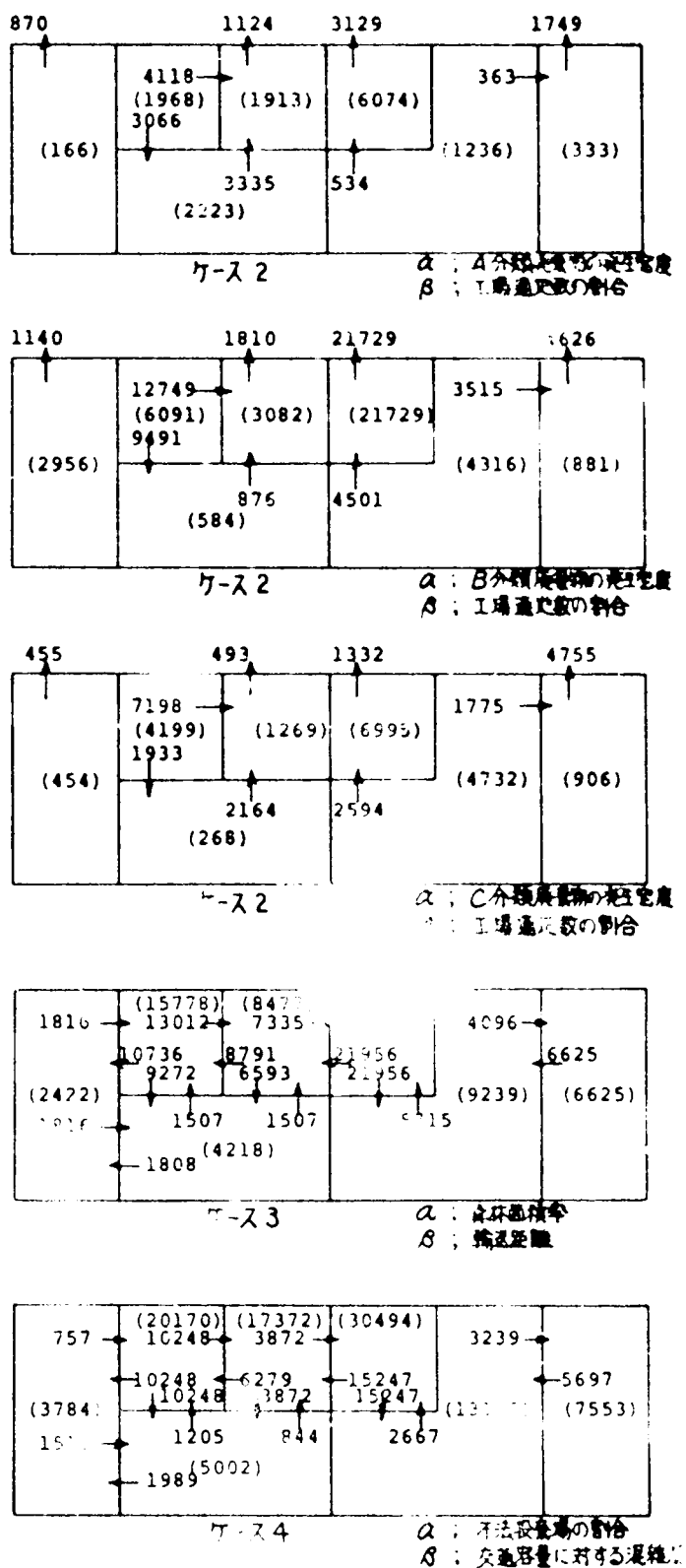


図7-19 廃棄物の配分結果(ケース2, 3, 4)

量がきわだって多くなっている。

以上のことから、配分は困難度に関する因子の分布によって基本的に定まるが、輸送と蓄積の困難度の間の相対的關係によって変化が生じ、その変化は式(7-11)あるいは式(7-12)のいずれを採用しているかによって異なっている。前者の場合には質的転化量が特定の地区で集中的に多くなっており、後者の場合には隣接するブロックの間の交換量のいずれかが β となるようなブロックが多い。

表 7-5 廃棄物の配分結果

		ケース 1 α : 廃棄物貯蔵量 β : 内部消費 廃棄物量	ケース 2 α : 廃棄物発生量 β : 工場地区の 割合	ケース 3 α : 森林面積率 β : 緑地率	ケース 4 α : 不法投棄割合 β : 交通量に 対する割合	備 考
I	内部蓄積量	2,798	3,576	2,422	3,784	
	外部流出量	4,253	0	8	0	
	内部流入量	171	0	8,920	9,967	
	質的転化量	0	2,475	36624	2,270	
II	内部蓄積量	7,583	3,075	4,218	5,002	
	外部流出量	589	6,375	0	476	
	内部流入量	395	14,490	12,859	12,071	
	質的転化量	1,278	0	4,822	3,562	
III	内部蓄積量	32,717	12,258	15,778	20,170	
	外部流出量	0	38,555	20,806	22,503	
	内部流入量	5,820	0	0	0	
	質的転化量	18,095	0	12,114	8,241	
IV	内部蓄積量	4,406	6,264	8,477	17,372	
	外部流出量	5,285	0	5,086	3,028	
	内部流入量	209	30,440	18,642	15,344	
	質的転化量	0	3,427	17,833	10,995	
V	内部蓄積量	34,955	34,798	17,077	30,494	
	外部流出量	0	0	30,662	23,955	
	内部流入量	8,655	7,629	0	0	
	質的転化量	25,033	26,190	13,250	6,539	
VI	内部蓄積量	10,879	10,286	9,239	13,145	
	外部流出量	8,136	13,282	0	0	
	内部流入量	2,754	0	18,770	15,038	
	質的転化量	0	0	9,811	5,906	
VII	内部蓄積量	9,757	2,120	6,625	7,553	
	外部流出量	2,754	0	2,529	2,458	
	内部流入量	2,013	7,653	0	0	
	質的転化量	1,239	11,130	4,096	3,239	

注) 単位: ト/月。路線が一致しないものは有効数字 3桁で計算したためである。

7-4 廃棄物配分法における地域特性の検討

7-4-1 配分法における地域区分の検討

7-3において検討したケーススタディでは、大きな河川を区分地域の境界として用い、一段下のクラスとして用いた市町村区域をグループ化した⁹⁾が、この手続きは一般性を有しているとはいえない。そこで本項では、廃棄物の配分をおこなう場合に必要な地域区分の方法について別途に検討しておくこととする。

すでに地理学の分野において、Grigg は生物学の分類にもとづいた地域区分の手続きを提案している¹⁰⁾。その地域区分とは、地域と特性(property)とを有する個体(individual)の全集合(ユニバース, universe)としてとらえ、分類指標(differentiating characteristic)に従って、階層性を有するクラス(class)の集合としてのカテゴリー(category)の群を設定することであるとしている。体系的な区分手続きとしてきわめて貴重であるが、生物学における種¹¹⁾の概念に相当するものが地域区分では不明確であるために、地域の固有性ならびに連続性の問題に対して適切な解釈を加えることは困難なようである。一つの方法として、都市や工業立地の中心地理論などでは地域の中心的な場所の間に線を引くことで区分することができる¹²⁾が、森林のように地域的分布に一体性が認められるものについては、クラスの分類指標からみた特性に従って分割することに徹するべきであろう。

しかし、全体的にみると、地域はその特性のもつ階層性(その特性をもつ抽象的な空間に対応して設定される¹³⁾)によって特徴づけられるとしても、最小単位とそのカテゴリーが存在しない(確定していない)ために、生物の分類とは異なって相対的フレームで分割せざるを得ない。提案されている5つの地域区分のルール¹⁴⁾、すなわち、地域区分の可変性のルール、分析の線に関するルール、地域区分の網羅性とその際に設けられるクラスの排反性のルール、地域区分の階層性における分類指標の同一性のルール、各分類段階における分類指標に関する序列のルールは、地域の何を具体的に注目するのかによって大きく影響を受け、修正されたり、他のルールが必要となったりするものと考えられる。

一般的に地域区分の方法は、分析的な地域区分と統合的地域区分にわけられる。分析的な地域区分においてはある段階のクラスを細分するのに、次段のクラスのカテゴリーがア priori に決定されていることが必要であるが、統合的地域区分においても、ある段階のクラスを統合するのは特性の和集合を代表するものを指標として採用することに依存しているのであるから、統合してゆく際に細区域の着目すべき特性をあらかじめ設定しておくことが望ましいであろう。地域区分をおこなうことは特性の分布を明確にすることにもなるが、廃棄物の区分問題の検討の one step としての位置づけからも、地域的に一体となっている卓越的特性を抽出する課題はさらに重要となってくる。

特性自身が地域空間に対して連続的であるか、離散的であるかという区別は、地域区分のプロセ

* たとえば、農村、近郊農村、工業集落地域に相当する地域を想定すると、それぞれの意味する範囲、差異は範囲としてあるだろう。

スに対して大きな差異をもたらすことは当然である。地域の特性はそれの観察の水準によっても把握のされかたは異なるが、とくに観察の面的広がりや地域区分の際に無視できない。廃棄物の配分問題には蓄積困難度と輸送困難度を規定したが、たとえば、蓄積困難度を規定する因子からみると同一地区として区分される地域空間が、輸送困難度を規定する因子からみると同一地区とは考えられない場合がある。逆に、配分問題の都合上、区分された地域空間の大きさの適合性を保つ上から、採用している因子から判断すると同時に併合されうる地域が、相互に隣接する複数の地区に分割されることもあるだろう。

統合的地域区分について具体例をまじえながら検討することとする。最初に設定する基礎単位の空間とそれをクラスとして分類する指標の性格によって、統合のプロセスは異なってくる。実際地域を対象とする場合に採用されることになり基礎単位は、メッシュ区域と市町村域である。前者においては、注目している因子のもつ空間規模に従ってメッシュの大きさを決定しようとしても、基礎単位に固有な特性はほとんどない。後者では、自治体ごとに特徴があるような面に関しては一定の固有性がみられ、たとえば、より一体的な近隣住区を区分域とすると、住民の日常行動という面からは地域の固有性が強くあらわれているだろう。

メッシュ区域を統合化する際には、因子を定量化して、量的な差が重要な意味をもつ部分で分割することが実用的である。たとえば、森林が地域においての意義を森林面積率という因子で評価するとすれば、森林面積率の一定巾ごとに地域のクラス分けが図になれて、地域空間のグループ化がなされる。図 7-20 のクラス分けを例にとると、地域空間のグループ化にはいくつかの選定が可能である。いま、区分境界として可能なもの（メッシュ区域では数学的にも種類に制限がある。）の集合としてするとき、一定の基準に従ってそのうちの一つが選みだされる過程を $f(L)$ で表現する。

いま、次のように f を設定する場合の手続きについて検討する。

f : グループ化された地域の指標の値の分散をできるだけ小さくする。

特定の因子を定量化し、それを指標として地域区分をおこなうに際して、まず基礎単位の空間（ここではサブエリアと呼ぶ。）の間の指標値の差を大きいとせわれ。今に線を引いて、分割の初期状態を決定する。この境界線とたどりながら左右のサブエリアを仮想的に反対側の地区に入れ、新たに平均値と分散を計算して、分散値がより小さくなるならば新しい地域区分を採用するという操作をおこなう。再びもとのスタート地点にもどってこない場合には、

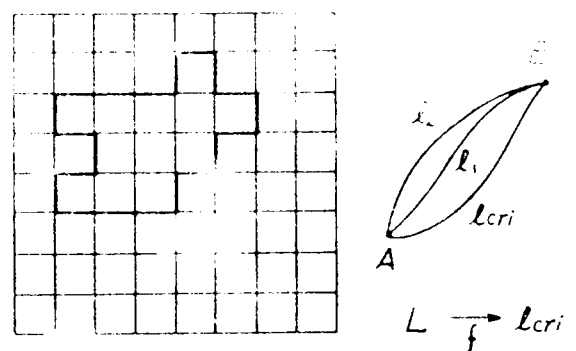


図 7-20 地域空間の分割

初期の設定の際に明らかに異質のサブエリアを1地区としてまとめたなどの大きな誤りがあることが推定されるので、はじめから計算をやりなおさなければならない。^{*} 指標値の傾斜がきわだっている部分をスタート地点にするなどの工夫によって元のスタート地点に戻ってきたならば、さらにくりかえしをおこない、新たな変更が生じなくなるまで続ける。上述のサブエリアの配置転換の際に、サブエリアを取り去られた地区とそのサブエリアが新規に加入する地区のいずれもの分散値が小さくなるのであれば判定は簡単であるが、より複雑な場合も想定されるので基礎的な検討を加えておく。

簡単のために2つの地区がそれぞれ n_1, n_2 個のサブエリアで構成され、指標値の平均値を m_1, m_2 , 分散を σ_1^2, σ_2^2 とすれば、全域の平均値 m_c , 分散 σ_c^2 はサブエリアの交換に関して不変で次の値をとる。ただし、指標値は正值に限るものとする。

$$m_c = (n_1 \cdot m_1 + n_2 \cdot m_2) / (n_1 + n_2) \quad (7-37)$$

$$\sigma_c^2 = (n_1 \cdot \sigma_1^2 + n_2 \cdot \sigma_2^2 + m_1^2 + m_2^2 - (n_1 \cdot m_1 + n_2 \cdot m_2)^2 / (n_1 + n_2)^2) / (n_1 + n_2) \quad (7-38)$$

いま、地区1のなかのサブエリア（指標値 m_p ）を地区2に繰入すると、それぞれの地区の平均値、分散は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} m_1' &= (n_1 \cdot m_1 - m_p) / (n_1 - 1) \\ m_2' &= (n_2 \cdot m_2 + m_p) / (n_2 + 1) \\ (\sigma_1')^2 &= (n_1 \cdot \sigma_1^2 + m_1^2 - m_p^2 - (n_1 \cdot m_1 - m_p)^2 / (n_1 - 1)^2) / (n_1 - 1) \\ (\sigma_2')^2 &= (n_2 \cdot \sigma_2^2 + m_2^2 + m_p^2 - (n_2 \cdot m_2 + m_p)^2 / (n_2 + 1)^2) / (n_2 + 1) \\ \sigma_1' / m_1' &= \sqrt{(n_1 \cdot \sigma_1^2 + m_1^2 - m_p^2 - (n_1 \cdot m_1 - m_p)^2 / (n_1 - 1)^2) / (n_1 - 1)} / (m_1 - m_p) \\ \sigma_2' / m_2' &= \sqrt{(n_2 \cdot \sigma_2^2 + m_2^2 + m_p^2 - (n_2 \cdot m_2 + m_p)^2 / (n_2 + 1)^2) / (n_2 + 1)} / (n_2 \cdot m_2 + m_p) \end{aligned} \right\} \quad (7-39)$$

二つの地区の分散がサブエリアの交換によってともに減少するための条件は、

$$-n_1 \cdot (n_1 - 2) \cdot m_p^2 + 2n_1 \cdot m_1 \cdot m_p - (n_1 - 1)^2 (m_1^2 + \sigma_1^2) - n_1^2 \cdot m_1^2 < 0 \quad (7-40)$$

$$n_2 \cdot (n_2 + 2) \cdot m_p^2 - 2n_2 \cdot m_2 \cdot m_p + (n_2 + 1)^2 (m_2^2 + \sigma_2^2) - n_2^2 \cdot m_2^2 < 0 \quad (7-41)$$

である。サブエリアを取り去られる地区についての条件式(7-40)の左辺をゼロとおいて得られる、変数 m_p の二次方程式の判別式はつねに正であるので、その正の根を $\lambda_{0,1}$ とすれば、次式をみたすことが地域1に関する条件となる。

$$0 < m_p < \lambda_{0,1} \quad (7-42)$$

^{*} この分析対象としている地域の境界上に出た場合には、少なくともその点は除く。

地域 2 に関して式 (7-41) の左辺をゼロとおいて得られる、 m_p の二次方程式の判別式の正負が σ_2 , m_2 , n_2 の関係によって変化する。すなわち、

$$\sigma_2 / m_2 \geq \sqrt{2/(n_2+2)} \quad (7-43)$$

であれば実根が存在するので、それらを $\lambda_{L,2}$, $\lambda_{G,2}$ (重根の場合は $\lambda_{L,2} = \lambda_{G,2}$) とすれば、次の範囲の指標値をもつサブエリアの転入は許容されることとなる

$$\lambda_{L,2} < m_p < \lambda_{G,2} \quad (7-44)$$

このことから、サブエリアの数を n とするとき、標本偏差の標本平均に対する比の値が $\sqrt{2/(n+2)}$ を下回る地区へのサブエリアの転入は認められないという判断基準が得られる。式 (7-43) が満たされている場合においては、式 (7-42) と式 (7-44) とを共に満足するような指標値 m_p をもつサブエリアについての交換によって、地域特性がより明確となる (分割された区域内の指標値の分散が小さい) 区分が得られる。

市町村境界を用いて統合的地域区分がおこなわれる理由のひとつは、多くの指標に関する統計が整備されていることである。しかし、市町村単位の空間をグループ化することによって特性がうきまわりのされるとみなしうるかどうか、その採用にとっての最大の留意点であることにかわりない。ただ、市町村境界でサブエリアを設定する場合には、それぞれの面積が異なるために、指標に対して面積効果があられることに注意を要するであろう。メッシュ、市町村境界のいずれを採用するにしても、サブエリア内部での均質性とグループ化された地区の全体性を保証することは一般的には相当難しい。

ここで、森林の量的な面に着目して、森林面積率を指標とした地域区分をおこない、サブエリアをメッシュと市町村境界とするときの区分結果を比較・検討してみる。グロスの森林面積率で評価しているが、本格的に森林のもつ環境保全上の役割に視点を置いて地域の統合的区分をおこなうためには、森林の機能を全般にわたって検討するとともに面的な広がりをも正しく評価に反映することが大切である。

図 7-21 は、富山県全域を対象として、 $9.7\text{ km} \times 7.7\text{ km}$ のメッシュと市町村境界の 2 つの基礎単位によって森林面積率を示したものである。いずれの場合も、1971 年に撮影された航空写真 (パンクロ、縮尺約 5000 分の 1) を参考にしつつ、5 万分の 1 の地形図を用いて決定した*。前述したように、サブエリアの指標値の分散を小さくすることを基準として、全域を 10 地区に区分することとなるが、それぞれの地区の面積の偏差を平均値の 20% までは許容する。サブエリアを適当な数にすれば、区分の過程で電子計算機を用いる必要性はまったくないが、その普遍的取扱いをあらわす意味で図 7-22 にフローチャートを示す。区分結果を示したのが図 7-23 であるが、基礎単位であ

* 富山県内の植生図がきわめて有用であった。

るサブエリアの設定の違いがかなり影響している。とくに、隣接する市町村の一部にまたがって存在する森林・緑地の取扱いが異なっているといえる。

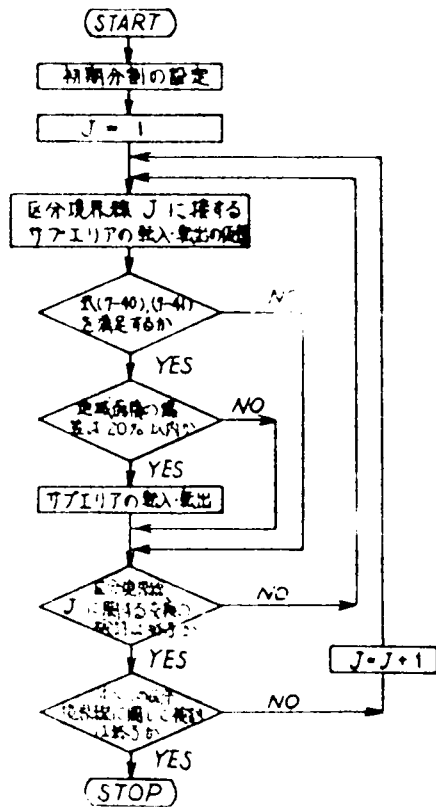


図 7-22 地域内の土地利用の分散の最小化による地域区分のフローチャート

43.5	92.9	82.7			14.7	43.5
98.4	58.6	42.6			20.0	57.2
25.8	62.2	43.8	13.6	20.4	39.1	95.7
68.1	23.1	14.0	5.7	9.2	72.0	100
67.5	3.5	67.7	0	26.2	93.5	100
67.7	29.6	100	76.6	98.0	98.8	100
96.9	88.7	92.4	98.6	98.4		
98.8	97.2	100				

(数値 %)

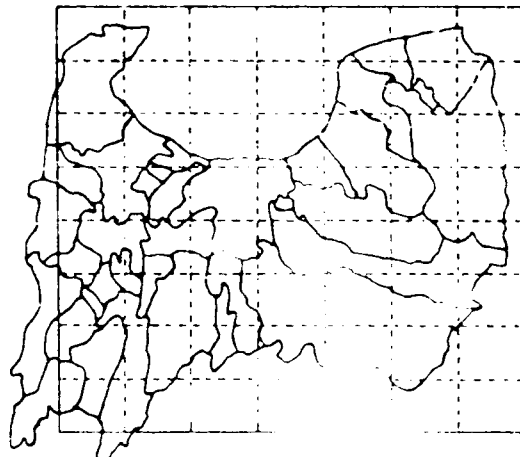
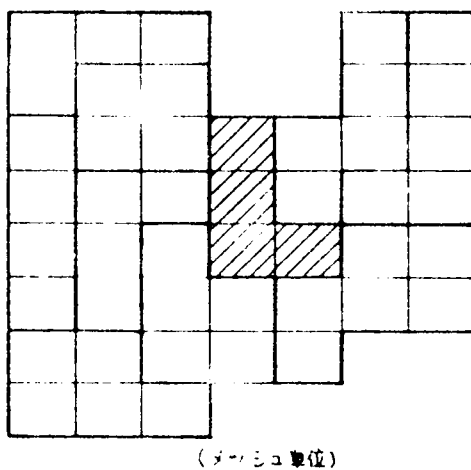
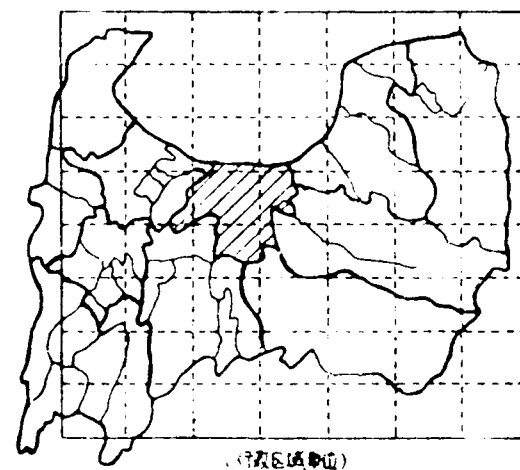


図 7-21 森林面積率



(ダッシュ単位)



(実線単位)

図 7-23 森林面積率を指標とした地域区分例

以上、サブエリア内部では指標に関する特性が等質であるとみなしうる場合の、統合的地域区分の方法について、具体例をもとに検討を進めてきた。その方法は地域区分の重要なアルゴリズムを提示して示すといえるが、万能でないことはあきらかである。そこで、つぎに地域区分全般に共通する基礎的な規則がいくつかについて列記することとする。

(i) 地域区分法が分析的、あるいは統合的のいずれの場合であっても、区分の各段階の指標とその基準が区分の実行前に判明していることであれば、集合論の概念をもちいて各段階の共通集合、和集合のそれぞれによって、単一のカテゴリーのクラスが事前に決定されていることになる。最終的に区分したい地域の大きさより一段小さいレベルのサブエリアを各クラスに配属し、隣接するサブエリアが同じクラスに属しておれば統合することによって、結果が得られる。潜在廃棄物環境としてみた実空間の区分は、潜在廃棄物の特性を重層的に把握することを前提としているので、それ自身、相当困難な課題である。それゆえ、本章で取扱っている範囲では、潜在廃棄物環境と事実上規定して種類わけをおこなう形で、それらの共通集合、和集合を定めることはできないが、潜在廃棄物環境の概念は地域区分の分類指標をも包括したものと考えられるので、地区の分類指標の構造を明確にしておくこと自身が潜在廃棄物環境の計画化にとって重要である。

(ii) あるハイルキーをもつ特性によって地域のクラスわけをおこなうことと、対象とする地域の区分とは異なったプロセスであって、必ずしも1対1に対応するとは限らない。とくに地域区分が自己目的的ではなく、区分された地域において潜在廃棄物の流動・代謝などを検討する場合では、それぞれのプロセスで対象の特性が異なって取扱われる。たとえば、地域間の物資流動に注目すると、ひとまずある種の指標によって同じクラスに分類された相互に隣接するサブエリアが、地域区分の際に合併されるとは断言できず、物資流動の範囲、流動の発着点などによって分割された地域として取扱われる場合もある。

(iii) クラスわけされた地域は一般的な空間ではなく、分類指標によって特徴づけられた地域であるから、分類指標で構成されるハイルキー ($D_1, D_2, \dots; D_k, \dots$) は、分割された区域を外延(Denotation)とするときの内包(Connotation)としての意味をもつものと考えられる。内包と外延との一般的関係^{*}に対応して、たとえば、「築後経過年数が大であること」を D_{k1} として、これを「改築を必要とすること」を D_{k2} であらわすとすれば、 D_{k1} には説明内包として「老朽化していること」が D_k に加わっている。逆に、 D_k に応じた外延に比較して D_{k1} の外延には、古いが十分に機能を果している建築物が除外されているであろう。しかし、分類指標の順番について一概に言うことも一意的ではない。たとえば、廃棄物を先に(有機、無機)で分割するのか、(有害・無害)で分割するかは問題の性格によって異なるであろう。いずれにせよ、($D_1, D_2, \dots; D_k, \dots$) と、区分した地域を場として検討する潜在廃棄物の特性にあるハイルキー ($D_1^*, D_2^*, \dots; D_k^*, \dots$)

^{*} 多くのクラスを上下階級において denotation の増大(=境界に配列するとき、その順序に従って内包は減少する。従って一般的に言うならば、connotation が増大(または減少)する場合、denotation は不変であるか、あるいは減少(または増大)する、と書かねばならない。もちろん、逆も成立する。(32)

との間の関係を明らかにしてゆくことは、廃棄物の配分法の信頼度を高めるために必要であると考えられる。

(IV) (ii) に述べたように、地域の区分は分割された区域ごとの特性をもとづくものの、注目している指標の質によって区分は異なり、相対的な面が強い。相対性は本質的には地域の連続性にも起因するが、指標の定量的取扱いの段階でも生じる。たとえば、第一種兼業農家と第二種兼業農家のいずれが卓越するかという視点で地域区分をおこなうとすれば、農業収益の占める割合の基準値をさかいにして両者が分類されるという点にはある程度の普遍性をみとめるとしても、第一種兼業農家の占める割合の範囲ごとのランクづけ、あるいはサアエリアでのその割合の平均値に対するランクづけを区分の過程でおこなわねばならず、このことが区分の相対性を強くする。しかも、地域区分においては量的な差が明確な意味をもっているとはいえない場合においても、次の(V)に述べる相互依存関係から過渡的に定量化をおこなうことも避けられない。

(V) 地域区分と区分された地域を場とする検討は相互依存적である。廃棄物の流動を考察することが主たる目的であるが、配分法や地域区分の指標として採用すべき因子の決定も重要な課題と考えられる。すなわち、地域区分、指標として採用する因子の決定、区分された地域を場とする廃棄物の流動の考察が鼎立した状態にある。7-3 で示した廃棄物の配分法が各ブロックを經由するルートの違いに左右されないような地域区分という例に代表されるように、極端な場合には所定の配分法を成立させる、あるいは廃棄物の計画的な流動・代謝を保証するような地域区分すら考えられるであろう。

(VI) 区分の際の一区域の大きさは、(iii) で述べた D_0 、 D^* の面的な（客観的事実）のみでは決定しえず、観測の水準にも影響される。この点でも、潜在廃棄物の計画化に際して、環境調査へのフィードバックが重要であることがうかがわれる。

(VII) 地域区分のある段階では量的取扱いが不可欠であるが、その場合でも山の段線や河川などによる特徴的な分割との比較をおこない、選択した指標による分割の背景を再確認しておくことは有意義である。数量化による地域区分の初歩的な方法は前述したが、自動的作図⁽⁹⁾の延長上に地域区分の煩雑な部分の自動化がなされることが期待される。

7-4-2 廃棄物配分法にかかわる因子の検討

7-3 においてはいくつかの重要と考えられる因子を選んで、廃棄物の配分をおこなった。本項では、まず潜在廃棄物環境の計画化の過程で重要な課題となっている計画指標の決定に関して、一つの論理的な方法を示し、そのあとで廃棄物の配分に係わる因子の抽出をおこなうこととする。

設想的には、計画指標として採用すべき因子の選択の際に、選定にあらわれている現象あるいは計画的に生じせしめる現象の原動力に注目しながら、それを規定する因子を把握するように努める

ことが大切であることはいうまでもない。潜在廃棄物ならびに完全廃棄物の現在の流動と代謝を規定している経済的要因は、狭義の経済性 (private economy) や公共経済 (public economy) はもうろんのこと、市場経済を超えて大気や水に相應の価値をみとめる性格に高めることを前提とするならば、環境の計画の過程においてもほぼ絶対的な支配的因子であることは疑う余地はないだろう。Stead と McGahey は環境のいくつかのレベルの差の改善に必要な費用によって環境の質を評価している¹⁸⁾が、まだまだ不十分であり、そのような域に達するには相当の研究の蓄積が必要であると考えられる。

他方、環境の個別的な因子の側から計画上の評価をおこなうとすると、それらは現在の流動と代謝を主として規定している因子ではないことが多く、明確な論理構成を第一段階から与えるのは難しい。さらに、対象が単純な化合物から遠ざかって総合的な物質になるにしたがい、また具体的な影響があらわれる代謝軸上の位置から遠くなるにしたがって、その困難の程度は増す。そこで、対象としている現象ならびに計画上の操作との関連がある因子を選びだすプロセスに続いて、因子間の関係を整理して基本的な重要因子をとりあげるプロセスが注目されることとなる。いくつかの関連因子のなかから環境計画の指標としての重要因子を抽出する際には、形式的思考におちいらないように注意すれば、次のような集合論の基礎的概念が有効である*。

因子は、たとえば「オープンスペースが広い」というように、主語と述語とで記述し、表に書きおろしてから相互の関係を一定の規則にもとづいて検討していく。ひとつの因子をひとつの事象と考え、事象Aが生じるとかならず事象Bが生じる場合には○印を、事象Bが生じるためには事象Aが必要である場合には●印を記入する。事象Aと事象Bとが独立である場合を×印、事象Aと事象Bとが排斥事象である場合を△印であらわすこととする。事象Aと事象Bとが共通集合をもつ場合には○印を記入するが、とくに事象Aが生じるとほぼ事象Bが生じるという関係に対しては≡印を、また逆に事象Bが生じるとほぼ事象Aが生じるという関係に対しては≡印を記入して区別することとする。たとえば、図 7-24 の上の付表に示す関係は、a と d との関係を除くと図のような集合を意味し、a と d との関係を加えることによって論理矛盾を引きおこしている。横方向に表を観察して、○印や≡印の多い因子は他の因子への影響力が大きく、その事象が成立することによって他の事象が

		a	b	c	d	.	.
	a	.	●	≡	○	.	.
	b	○	.	○	×	.	.
A	c	≡	●	.	≡	.	.
	d	●	×	≡	.	.	.

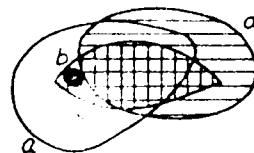


図 7-24 因子関連表と事象の集合

* もっとも注意しなければならないことは、集合の境界であり、その集合と特徴づける意味。集合に含まれる事象を明確にしなければならない。図 7-24 のような平面的図案では不十分で、やがて階層システムとして考えることも必要である。

自動的に成立するという原因的な、十分条件的な性格をもつ。逆に●印や○印の多い因子は他の因子よりの影響を受け、他の事象が成立することによって自らも成立するという結果的、必要条件的な性格をもつ。前者を原因的支配因子、後者を結果的包括因子と呼ぶこととする。図7-24の付表で $d \rightarrow a$ の関係をまに変えた例では c が原因的支配因子としての性格が最も強く、 a が結果的包括因子としての性格が最も強いといえる。いま、 A の余事象を \bar{A} で表現すると、 c を指標として計画プロセスを構成したとすれば、他の因子は a, b, d の形で関係的にかかわっており、 $\bar{a}, \bar{b}, \bar{d}$ の形のかかわり方は少ない (\bar{b} の可能性はかなりある) と推定できる。他方、 a を指標とした計画プロセスにおいては、他の因子は c, b, d であるのか、 $\bar{c}, \bar{b}, \bar{d}$ であるのかはほとんど不明である。

ところで、「オープンスペースが広い」という例でもあきらかなように、因子と考えている事象は段階的な性格をもち、かならずしも A と \bar{A} とで表現されるものではない。森林面積を例にとると、その面積率が (0~15%), (15~30%), (30~45%) というようにいくつかの段階と有するであろう。そこで因子をいくつ

かの段階にわけて、それぞれの間の論理的強度によって関係を評価してゆくが、因子の段階数と論理的強度の段階数とはほぼ符合していることが必要であり、ここでは3つに分割するものとする。

表7-6を因子関連マトリックスと称し、そのサブマトリックスについて次のような操作をおこなう。 A_i であれば B_i であるといえる強度を強い方から $\equiv, +, \phi$ で記入

し、逆に B_i であるためには A_i が必要であるといえる論理的強度を強い方から $\equiv, =, -$ で記入し、さらに A_i と B_i とが関係ないことを \times 印、 A_i と B_i との関係について判定しえないことを ϕ 印で表現することとする。対象としている問題に精通している人に表7-7の因子関連マトリックスの原票を配布し、因子相互間の関係に応じて記号を記入したのちに回収する。因子関連マトリッ

表7-6 因子関連マトリックス

		A			B			C			.		
		a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	c_1	c_2	c_3	.	.	.
A	a_1	.											
	a_2	\times	.										
	a_3	\times	\times	.									
B	b_1	\equiv	+	ϕ	.								
	b_2	+	ϕ	ϕ		.							
	b_3	ϕ	ϕ	\equiv			.						
C	c_1	=	ϕ	ϕ				.					
	c_2	ϕ	-	-					.				
	c_3	ϕ	-	-						.			
.	.										.		
	.											.	
	.												.

クスの構成要素ごとに集計し、各記号の平均的出現率を算定する。あらかじめ平均的出現率の範囲を与えておいて、たとえば10人の回答のうちで3～5人の該当回答のある記号というように、それらの範囲ごとに出現する記号を行列要素としてもつ因子関連マトリックスを作成する。出現率が高いものに限定したときにあらわれる記号、あるいはマトリックスが意味する因子間の関係は、多くの人の判断によって裏づけられているという点から、信頼度が高いといえる。表7-6の $3 \times 3 = 9$ の要素からなるサブマトリックスが図7-24の付表の1行列要素に対応しているので、表7-6を多くの回答をもとに作成し、これからマトリックスを縮小して簡素化してゆくのはよいであろう。

以上に手続きを示した因子間の関連に関する論理的な分析法をもちいて、廃棄物処理場の立地にかかわる因子を43とりあげて検討した事例がある⁸¹⁾。論理的強度については $\pm 3, \pm 2, \pm 1$ のように採点し、プラスとマイナスごとに合算したところ、たとえば流動物質中の廃棄物濃度が高いという因子はいずれの符号の値もかなり大きく、原因的なうびに結果的の両方の性格をもっているものと考えられている。

もともと、このような論理的手法はデルファイ法やKJ法¹³⁴⁾と同様の集団的ブレインストーミング的な性格をもち、多くの有識者による回答から抽出することによって作成しうるので、ここでは具体例を示すことはやめて、廃棄物配分法との関連で因子について考察してみる。なお、すでに紹介したFresno areaにおける固体廃棄物処理計画では、13つの環境因子と19つの単位操作をとりあげ、多くの分野の学者の評価づけ（一種の質問紙調査である。）によってプランごとの評価値を決定し、一定の費用の範囲内で最大の環境改善効果のあるものを選んでおり³¹⁾、共通性がみられる。

上述の方法によって、原因型の因子と結果型の因子があきらかになるが、一方、計画的立場からは対策型と検出型というべき2つの因子の型をみ分けだすことが重要であろう。ここで、端的には、対策型因子とは環境の劣化防止、あるいは修復の際によりどころとなる因子であり、検出型因子とは環境の質的悪化を知覚・検出する機能をもつ因子である。具体的な計画案を想定することによって、はじめて対策型因子、検出型因子の性格があきらかになるために、この2つの因子を因子関連マトリックスから見い出すことは難しいが、仮の基本計画案を設定して因子関連分析をおこなえばよいであろう。

7-2-2 で述べた容量概念、環境容量と因子との関係について考えると、原因型因子には分離型環境容量に関連する面があり、結果型因子には包括型環境容量に関連する面がある。すなわち、分離型の場合はある空間への入力に関する基準であるので、空間で生じる現象の原因の一端を出力が担っているという点から原因的な性格をおび、逆に包括型の場合はある空間からの出力に関する基準であるために、対象空間で生じる現象の結果を出力が反映しているという点から結果的な性格をおびるのである。

7-4-3 多地区間配分法と動的化

7-3 のケーススタディにおいて示した配分過程のなかでも、輸送項の困難度が流動する廃棄物の量によって決定されるとした事例は、他の場合よりも詳しく検討される必要がある。7-3-2 では、輸送項の困難度を発生廃棄物全量と隣接するブロックへ仮に輸送することによって生じる廃棄物濃度によって決定しているが、配分結果にともなう廃棄物の輸送量は一般的にはそれよりも低い廃棄物濃度を示すであろう。そこで、配分結果の輸送量にもとづいた輸送項の困難度を計算して再び配分すれば、異なった結果が得られると考えられる。また、輸送が可能な方向が複数ある場合には、ひとまず個別に算定した結果を平等に評価して配分をおこなっているが、はじめに隣接するブロック間で輸送の方向を決定してやることとともに、再検討する必要があるであろう。このことは対象地域を多くのブロックにわけた多地区間配分法ではさらに顕著となり、隣接関係にないいくつかの地区を経由する輸送を表現しうるようなモデルとしなければならない。多地区間の流動と蓄積の量を explicit に一挙に決定することが困難であるので、直接には隣接するブロックごとに計算をおこない、各ブロックを一巡するくり返し計算を実行することによって値の分布を決定することが適当な方法であろう。

図7-25のように4個のブロックと接する地区について、まず廃棄物発生量を4等分した量を仮に輸送したときの廃棄物濃度を計算して、各方向への輸送の困難度を算定したのちに第一次配分をおこなう。周辺の4つのブロックについても同様の操作をおこない、輸送は一方向のみに限定せず相互間に認める。ついで第一次配分の結果から、ブロック i の蓄積量 $[dR/dt]_i^1$ と流入量 I_i^1 を加えたものを第二次配分の q_i^2 として、再配分を実行する。第二段階の輸送の困難度は、前段階の一次配分による輸送量から計算する。第 k 次段階の配分をおこなう際の輸送の困難度は第 $(k-1)$ 次段階までの輸送量を合計した値に対して決定するものとする。くり返しの回数が増加するにしたがって輸送量は安定してくるであろう。

式(7-12)を用いて輸送の困難度 β を決定するタイプに相当しているので、輸送によって生じる廃棄物濃度と β との関係は直接に表示することができるが、かなり高い廃棄物濃度に対しては非常に大きいとはいえない β の値が決定されるというのであれば、各段階での輸送量の安定化は顕著ではないであろう。たとえば、あるブロック i がマイナスで周辺からの廃棄物が集積されるとするならば、平衡に達する以前にいくつかのブロックの廃棄物が外部に搬び去られ、解が収束しない可能

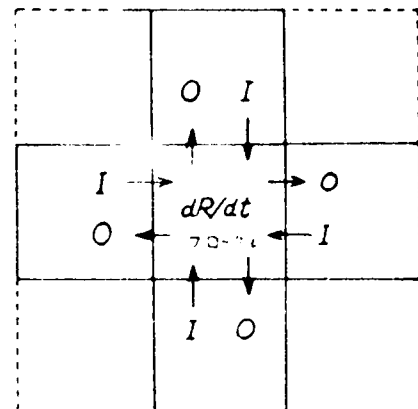


図 7-25 廃棄物配分のためのブロック

性がより多くあるものと推定される。解の発散を避けることを別にしても、くり返し計算を速めるには廃棄物濃度などの指標と困難度との量的関係は連続的に表現されることが望ましい。

いま、蓄積項にかかわる指標の値を r_a 、輸送項のそれを r_p とおくと、式(7-10)と式(7-11)に対応する α_i 、 β_i とそれらの関係を、

$$\alpha_i = f(r_a) \quad , \quad \beta_i = g(r_p) \quad (7-45)$$

とおけば、式(7-9)をみたす α 、 β に対して次の関係式がなりたつ。

$$\frac{\partial \beta}{\partial r_p} = \frac{1}{f} \cdot \frac{\partial g}{\partial r_p} = \frac{g}{f^2} \cdot \frac{\partial f}{\partial r_p} \quad (7-46)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial r_p} = -\frac{f}{g^2} \cdot \frac{\partial g}{\partial r_p} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial f}{\partial r_p} \quad (7-47)$$

輸送項にかかわる指標が直接には蓄積項の困難度には関与しない ($\alpha \cdot \beta = 1$ であるから間接的には関与することはいうまでもない。)とすれば、上の二つの式の右辺第二項はいずれもゼロとなり、

$$-\frac{\partial \alpha}{\partial r_p} / \frac{\partial \beta}{\partial r_p} = f^2 / g^2 \quad (7-48)$$

が導かれる。くりがえし計算の際に廃棄物濃度であらわされる r_p が変化すれば、 α と β のいずれもが変化するが、その変化は式(7-48)をみたし、最初の困難度をあらわす関数の値の2乗のかたちで効果をおよぼすことに留意しなければならない。関数 f と g の値が極端に異なる場合には r_a ならびに r_p の変動が困難度の片方へのみ大きく影響するので、表7-4に示したようにはほぼ同じレベルとするのが良い。参考のために 配分率との関係を示せば、

$$\frac{\partial}{\partial r_p} \left(\frac{\partial C}{\partial t} / q \right) = \frac{\partial \beta}{\partial r_p} \cdot \left(1 - 2\beta \cdot \frac{f^2}{g^2} + \frac{f^2}{g^2} \right) \quad (7-49)$$

$$\frac{\partial}{\partial r_p} \left(\frac{\partial (cu)}{\partial x} / q \right) = -\frac{\partial \beta}{\partial r_p} \cdot \left(1 - 2\beta \cdot \frac{f^2}{g^2} + \frac{f^2}{g^2} \right) = \left(1 - \frac{g^2}{f^2} \right) \cdot \frac{\partial (f/g)}{\partial r_p} \quad (7-50)$$

となる。

問題を簡単にするために、図7-26のような地区分割をおこなない、蓄積項にかかわる相対的評価値 r_a は固定しておき、輸送項にかかわる指標 r_p として流動物質中の廃棄物濃度を採用した場合について、配分によって生じる廃棄物濃度にもとづく困難度がちょうどその配分を規定するように、くり返し計算を実行する例を示しておく。ただし、くり返し計算のアルゴリズムを示すことが目的であるから、値そのものに意味はえしい。 r_a ならびに r_p と式(7-10)の第一段階の α_i 、 β_i の関係を次のようにおく。

$$\alpha_i = 1 / r_a = 1 \quad (7-51)$$

$$\beta_1 = 0.75 / (0.5 - r_0) - 1 \quad (7-52)$$

二つの式は表7-3で示した線型関係ではなく、廃棄物を蓄積しうる容量を意味する r_0 がゼロの場合には蓄積の困難が無限大となり、廃棄物濃度を意味する r_0 が0.5に接近すると輸送の困難度が無限大になっており、直角双曲線をあらわしている。図7-27のように必要なデータを与え、各ブロックの順に計算を実行した。

ここでの計算方法は、先に手続きを述べたものと異なり、配分によって生じる廃棄物濃度がその配分をもたらしうる輸送困難度と導くまで、隣接するブロックへの輸送を生じさせずに、くりかえしたのである。計算の1ステップは、発生量の1/4ずつの仮の輸送によって生じる廃棄物濃度からスタートしており、その廃棄物濃度をもとにした配分結果を図7-28の左図に示す。廃棄物濃度はステップの進行とともに安定してくるが、当初は振動を生じるものもある。図7-28の右図は、4ステップ目の廃棄物濃度をもとに算

定した配分量を示したものである。

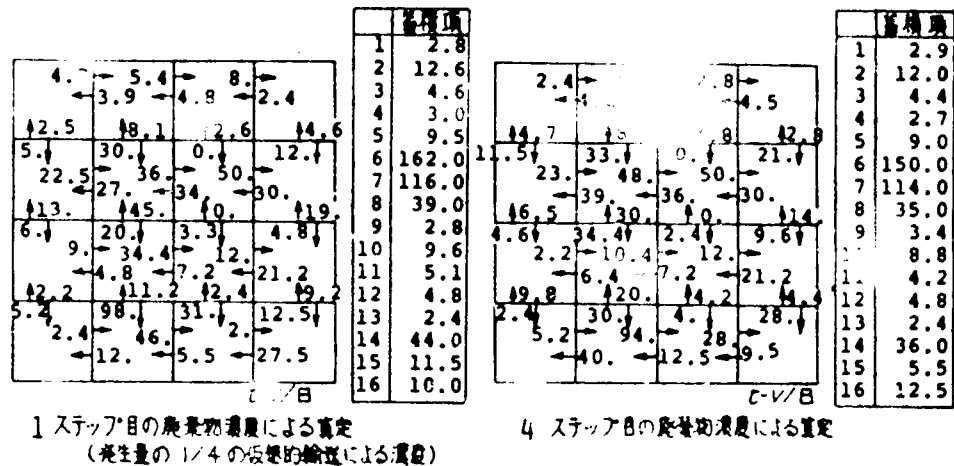


図7-28 廃棄物の配分結果

以上に示したくり返し計算はあくまで時間を固定して、一定の条件をみた可配分を決定するためのものであったが、実際には時刻の経過に対応して配分がおこなわれる必要がある。時間変化を組みこんだ配分を動的配分と呼ぶこととすれば、ある時期以前の配分結果がその時点での配分に直接

*0.5	*0.2	*0.4	*0.45
10 ₁	30 ₂	20 ₃	10 ₄
*0.45	*0.1	*0.2	*0.3
50 ₅	300 ₆	200 ₇	100 ₈
*0.5	*0.4	*0.35	*0.6
20 ₉	80 ₁₀	30 ₁₁	40 ₁₂
*0.6	*0.55	*0.7	*0.85
10 ₁₃	200 ₁₄	50 ₁₅	50 ₁₆

図7-26 廃棄物配分のための地域区分

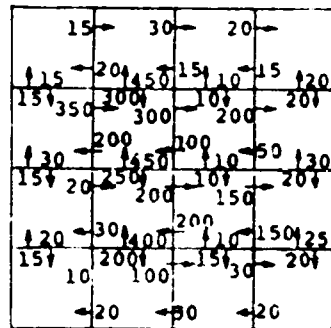


図7-27 廃棄物濃度の算定のための蓄在廃棄物流動量

的な影響をおよぼすような構造を動的配分法が有することは大きな意義があるであろう。配分結果が次期の配分に影響を与えるということは、この場合には蓄積と輸送に関する評価係数 r_a, r_p の値が、以前の配分にともなう蓄積と輸送の時間的経過によって定まるということを意味する。蓄積あるいは輸送された廃棄物はなんらかの変化をうけ、新規に発生する廃棄物とは異なった質をもつ面があらわれてくる。多くはそれぞれの場所で処理を受け、安定化して物質循環の後段部に繰入されることになるが、発生したときの質的段階にとどまっている廃棄物もあるであろう。それらは、蓄積頂の困難度とその時点で現存している蓄在廃棄物ならびに完全廃棄物の質の評価を反映させることによって、次の時期の配分に直接的にかかわるであろう。第2章や第5章で検討したように、物質代謝の数量的表現は簡単ではないが、ここでは代謝係数 K をもつ一次反応型モデルを採用して議論を展開しよう。

j ブロックの時期 i における廃棄物発生量のうちの自区内蓄積量と実質流入量の合計量 $Q(i, j)$ に対して、式(2-20)の R_2 へ転化する率を K_2 とおき、相対的に安定化した量を R_3 とおけば、次の関係式がなりたつ。

$$\frac{dR_2(i, j)}{dt} + K_3(i, j) \cdot R_2(i, j) - K_2(i, j) \cdot Q(i, j) \quad (7-53)$$

$$\frac{dR_3(i, j)}{dt} + q_{3,4}(i, j) - K_3(i, j) \cdot R_2(i, j) + (1 - K_2(i, j)) \cdot Q(i, j) \quad (7-54)$$

ここに、図 7-29 に示すように、 $K_3(i, j)$ は R_3 になるための処理を受けずに放置されたものが自己分解もしくは処理される率を示し、 $q_{3,4}(i, j)$ は相対的に安定化したものからさらに代謝軸上での後段部（一般的にはより安定といえる。）への変化量である。初期値が $L = L_0$ で反応速度定数が k_d であるような非連続型の一次反応の反応量は、

$$L = L_0 \cdot e^{-k_d \cdot \Delta t} = L_0 \cdot k_d' \quad (7-55)$$

と表現され、もし配分の時間間隔を Δt とすれば、

その期間ごとに割引率 k_d' で量が減少することになる。自浄係数的な性格をもつ $K_3(i, j)$ は k_d' の意味で用いている。

r_a として流動物質中の廃棄物濃度を採用し、 r_p として環境構成物質の現存量のなかの廃棄物濃度に相当する $R_2(i, j) / \{R_1(i, j) + R_2(i, j)\}$ の値を採用する。 r_a, r_p と蓄積あるいは輸送の困難度との関係は式(7-51)、(7-52)であらわすものとするが、計算を簡略化するために、

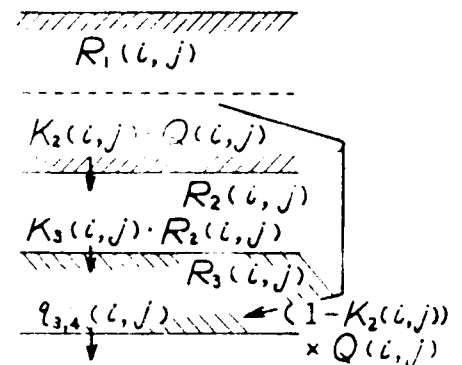


図 7-29 配分された廃棄物の代謝軸上での変化

表 7-7 廃棄物の動的配分例のための計算条件

	廃棄物量	R_1	R_2	R_3	QX_1	QX_2	QY_1	QY_2	K_2	K_3	備考
1	10.0	400.0	60.0	0.0	150	-	-	150			
2	30.0	650.0	140.0	0.0	300	200	-	4500			
3	20.0	250.0	110.0	0.0	200	150	-	100			
4	10.0	330.0	30.0	0.0	-	150	-	200			
5	50.0	850.0	190.0	0.0	3500	-	150	300			
6	300.0	1400.0	610.0	0.0	3000	2000	3000	4500			
7	200.0	1500.0	380.0	0.0	2000	1000	100	100			
8	100.0	600.0	230.0	0.0	-	500	200	300	- 中	- 中	
9	20.0	290.0	60.0	0.0	200	-	150	200	0.01	0.10	
10	80.0	740.0	70.0	0.0	2000	300	2500	4000			
11	30.0	380.0	270.0	0.0	1500	2000	100	100			
12	40.0	280.0	60.0	0.0	-	1500	200	250			
13	10.0	240.0	40.0	0.0	100	-	150	-			
14	200.0	630.0	70.0	0.0	1000	200	2000	-			
15	50.0	390.0	40.0	0.0	300	500	150	-			
16	50.0	310.0	30.0	0.0	-	200	200	-			
	$t-V/\text{日}$	$\times 10^3 t-V$	$t-V$	$t-V$	$t-V/\text{日}$	$t-V/\text{日}$	$t-V/\text{日}$	$t-V/\text{日}$		1/年	

注) R_1, R_2, R_3, K_2, K_3 の意味については図 7-29 を参照のこと。

QX_1, QX_2, QY_1, QY_2 は港内廃棄物の流動量であり、それぞれ、対象メッシュの右、左、上、下のメッシュへの量と意味する。(図 7-25 を参照のこと)

先に述べたことと異なり、発生量の 1/4 ずつを隣接ブロックに仮に輸送した場合に生じる流動物質中の廃棄物濃度が α_β と算定して固定している。表 7-7 のような計算条件のもとで計算を進め、複数の輸送方向の取扱い、困難度 β の小さい方向について $\alpha_1/(\alpha_1 + \dots)$ の割合で配分し、

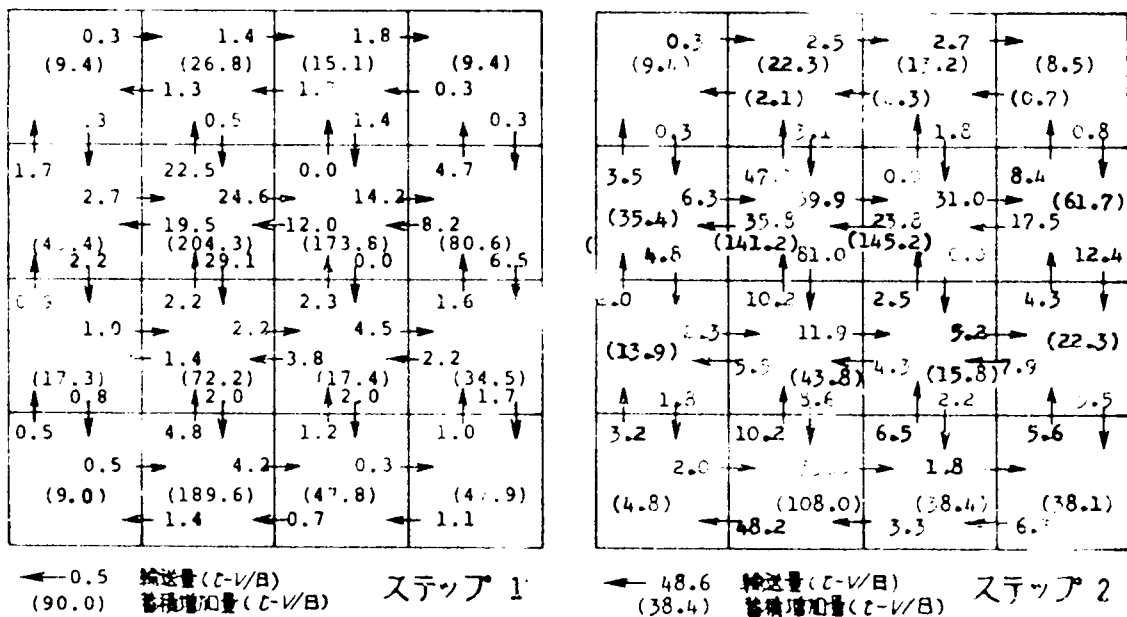


図 7-30 廃棄物の動的配分計算例 (つづく)

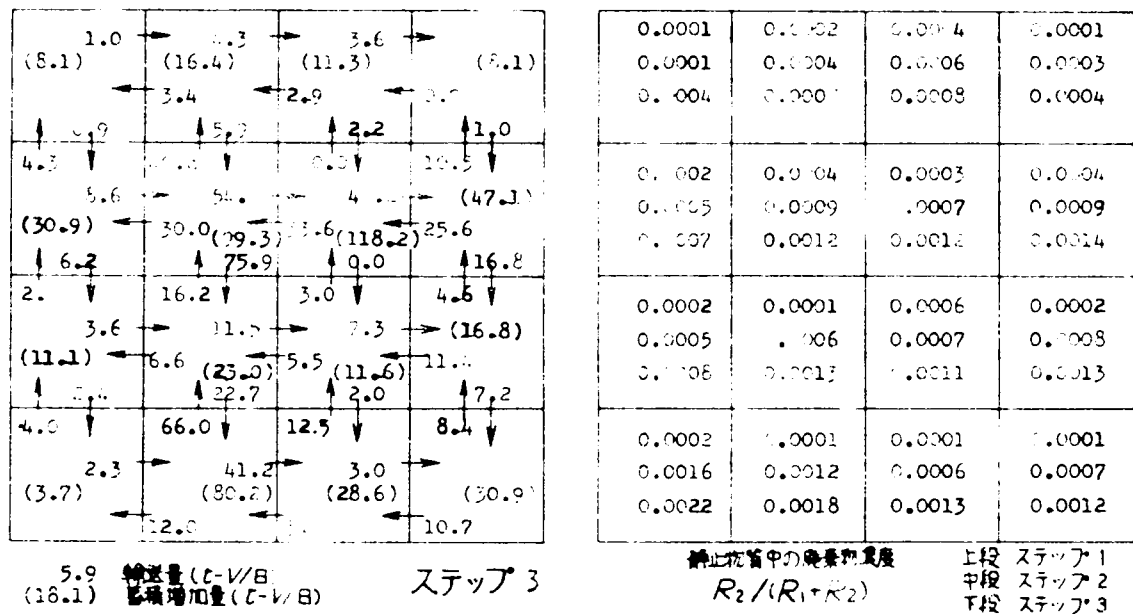


図 7-30 廃棄物の動的配分計算例

残りの量について二番目に小さい β_1 の方向に同様の操作で輸送するものとした。4つの方向について輸送量を算定し、残量を当該メッシュの蓄積増加量とした*。この蓄積増加量の1%が R_2 に転化し、 R_2 は1年間に10%だけ R_3 に転化するので、廃棄物発生量が多いと静止物質中の廃棄物濃度が増加することになる。

時間間隔を1年として3回の計算結果を示したのが図7-30である。メッシュ相互間の輸送量が時間経過とともに増加しており、 $R_2 / (R_1 + R_2)$ の値の傾向と対応している。

* 計算プログラム 5 の subroutine が対応している。

7-5 廃棄物濃度の諸相からみた廃棄物輸送計画の研究

7-5-1 廃棄物輸送の線的モデル

地域的に廃棄物を配分した結果として、他地域の分を含む廃棄物を受け入れる地域内には、適切な処理処分施設が計画的に設けられることになる。また、処理施設があることが廃棄物の流動の現象上の吸引力となっていることも事実である。この場合、個々のアロックの平均的全体像としての受け入れ限界は、先に述べた環境容量的な概念にもとづき、直接的には配分法の困難度の逆とその分布によって定められる構造となっている。しかし、処理・処分施設の周辺などの廃棄物の集中する地区においては、配分の際に分割されたアロックのなかでもとりわけ環境面への影響が大きい。地域の面的な広がり注目して、潜在廃棄物で構成される環境の劣化現象が、完全廃棄物とそれに近い潜在廃棄物の蓄積によって生じていると考えてきたが、さらにそれらを背景としてもたらされた完全廃棄物の流動が、比較的狭域の線的または点的な問題を提起しているといえよう。

これまでの廃棄物輸送に関する計画的立場からの研究には、次項に述べる廃棄物輸送計画と廃棄物収集作業のシステム分析あるいはシミュレーションの範疇に入るものが多い。後者の研究例としては2-1で紹介した報文と同様の研究報告⁽⁴⁵⁾が国内でもあり、自治体の清掃関係部局からも検討に値する研究報告がなされている。^{(46),(47)} 収集作業に関するシミュレーションは、きわめて複雑な収集・輸送過程を定式化して、解析の有用な手段を提供しているという点では評価できるが、既成の概念を固定化して単に資料を消化するだけのシミュレーションや、内部の構成を新たに組み立てるよりも現状の説明を優先するようなシミュレーションは適切な使用方法ではない。末石⁽⁴⁸⁾が述べているように「問題の解決のために他の手段がある場合には、シミュレーションを用いることは最も不適当」であり、「その威力は、実在のシステムと異なったシステムを実際に起こすときに起こる現象を記述するときに評価され」、「シミュレーションモデルの妥当性は必ず現状のシステムを一部包含する部分によって実証しておくことが必要」であることを認識しなければならない。このような視点から、収集輸送過程については意図的にきわめて単純な設定をおこない、他方で輸送過程で生じる廃棄物の流動が環境へ重要な指標となっている点を重視し、流動物質の廃棄物濃度の変化を検討するものとする。

いうまでもなく、顕在化した廃棄物の流動が集中する特徴的な例は、都市廃棄物の収集輸送である。断面流動調査の結果によれば、廃棄物焼却工場や埋立地への搬入経路では流動物質の廃棄物濃度が高く、50%をこえる場合すらみられ、時間的な変動も顕著であることが知られている。一般には都市廃棄物の搬入経路は放射状に設定され、環状に輸送するのは放射状道路の制約にもとづきことが多い。そこで、発生した廃棄物を処理するための収集輸送に対して、図7-31に示す一次元的な地域を設定して流動を検討する。

主軸に直角な副軸に沿って廃棄物の発生密度が一定であり、収集後の運搬は副軸を経由し、副軸

上で移動速度が一定であるとし、単位時間あたりに一定量の収集をおこなうとすれば、主軸と合流する副軸の下流端での流動量は時間 t に関して一次関数となる。もし、副軸における収集速度（単位時間あたりの収集量）を時間 t に関して三角形分布とすれば、副軸下流端の流動量は t に関する二次関数となる。それらはいずれも一次元解析の主軸における収集量の時間的变化をあらわすことになるが、ここでは、副軸のそれぞれの部分で収集効率が時間的に変化するとして、後者を採用する。しかし、副軸のそれぞれの部分での収集量が台形分布として与えられるとする、より一般的な場合に対して、その台形のピーク部分が卓越する場合（収集開始後、すばやく収集量がほぼ一定となる場合）には前者が、また、初期ならびに晩期の変化部分が卓越する場合（収集開始後、収集作業の効率が遞増し、一定のピークをさかいに遞減する場合）には後者が、近似式として対応していることに注意しておく。

主軸の単位距離あたり q_0 の廃棄物の発生があり、これに対して $t = \eta$ に始まり、 $t = \eta + s$ に終る収集を想定する。以上に述べたことから、主軸への横からの流入量を次のように表現する。

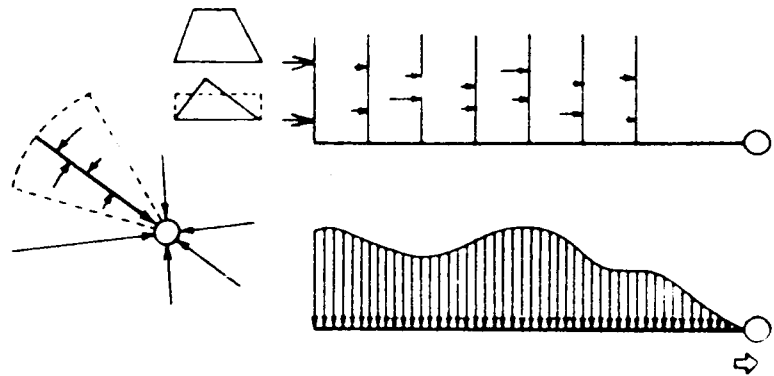


図 7-31 廃棄物輸送による一次元的流れ

$$q(x, t) = \begin{cases} q_0 \cdot \frac{1}{s^3} \cdot (t - \eta)(t - \eta - s) & \eta \leq t \leq \eta + s \\ 0 & t < \eta, \quad \eta + s < t \end{cases} \quad (7-56)$$

任意の主軸断面における、任意の時刻の廃棄物流動量は特性曲線法などを用いて算出することが可能である。

代表的な断面である主軸の下流端の流動量 Q_0 は、主軸輸送速度 u が一定であるとするとき次のように表現される。

$$\begin{aligned} Q_0(t) &= \int q(x, t - \frac{x}{u}) dx = \int q_0 \cdot \frac{1}{s^3} \cdot ((t - \frac{x}{u}) - \eta) \cdot ((t - \frac{x}{u}) - \eta - s) dx \\ &= \frac{q_0}{s^3} \cdot \left[\frac{x^3}{u^3} + \frac{(\eta - s - t) \cdot x^2}{u} + (\eta - t) \cdot (\eta + s - t) \cdot x \right]_{x_1}^{x_2} \end{aligned} \quad (7-57)$$

ある区間 $(L, L+B)$ において、収集量密度 q_0 、収集開始時刻 η 、継続時間 s が一定であるとすると、上式の積分範囲はいくつかに分類されることとなる。その分類パターンは、収集継続期間とその区間の主軸上の滞留時間 (B/u) の大小によって定まる。いま、区間を十分に小さくすると、 $B/u < s$ が成立し、次のそれぞれの積分範囲に対応する流動量の関数形が決定される。

$$(i) \quad \eta + \frac{L}{u} \leq t \leq \eta + \frac{L}{u} + \frac{B}{u} \quad ; \quad x_2 = u \cdot (t - \eta), \quad x_1 = L \quad (7-58)$$

$$(ii) \quad \eta + \frac{L}{u} + \frac{B}{u} \leq t \leq \eta + \frac{L}{u} + s \quad ; \quad x_2 = L + B, \quad x_1 = L \quad (7-59)$$

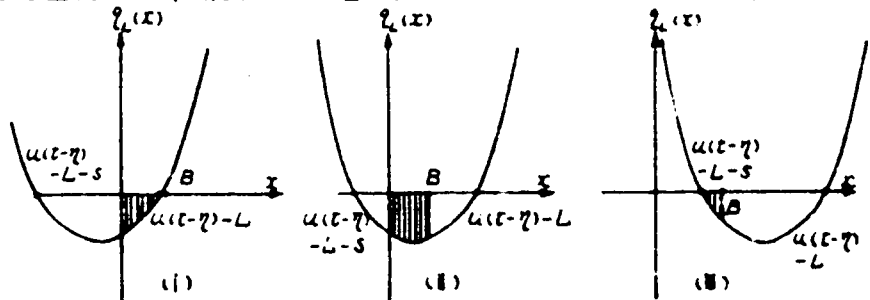
$$(iii) \quad \eta + \frac{L}{u} + s \leq t \leq \eta + \frac{L}{u} + \frac{B}{u} + s \quad ; \quad x_2 = L + B + u \cdot (t - \eta - s), \quad x_1 = L + B \quad (7-60)$$

ところで、式(7-57)からあきらかなように、 $Q_0(t)$ は二次曲線の一部と x 軸とで囲まれた部分の面積を意味するので、それぞれの時間帯に応じた面積を重ねあわせることによって、図上で概略値を知ることができる。図7-32は時間帯ごとの積分値を面積であらわしたものであり、区間 $(L \sim L+B)$ からの収集量による主軸下流端の廃棄物流動量の変化を示している。収集地域を主軸にとって B_0 ごとに区切り、

輸送速度 u については代表速度 u^* を定義すると、次のような式の展開が得られる

$$u = \kappa \cdot u^* \quad (7-61)$$

$$Q_0(x) = \frac{q_0}{s^3 \cdot u^2} \cdot \{x - (u\tau - u\eta - L)\} \{x - (u\tau - u\eta - L - s)\} \quad \text{区間} ; (L \sim L+B)$$



$$\begin{aligned} Q_0(t) &= \int \frac{q_0}{s^3} \cdot ((t - \frac{x}{u}) - \eta) \cdot ((t - \frac{x}{u}) - \eta - s) dx \\ &= \int \frac{q_0}{s^3 \cdot u^2} \cdot ((x - u\tau) + \eta u) \cdot ((x - u\tau) + \eta u + su) dx \\ &= \frac{1}{(u^*)^2} \int \frac{q_0}{s^3} \cdot ((\frac{x}{\kappa} - u^*t) + \eta u^*) \cdot ((\frac{x}{\kappa} - u^*t) + \eta u^* + u^*s) dx \quad (7-62) \end{aligned}$$

すなわち、対象区間の $(L/\kappa + \eta u^*)$ をもとめ、その値に相当する横距より始まって $(L/\kappa + \eta u^* + su^*)$ に終わるまでの、最大横距が $(q_0/4s)$ であるような二次曲線の図形を流出図としてえがくと、次の二つの値の横距の間に位置する部分の面積が対象区間からの収集の寄与分となる。流動量を意味する図形の境界を構成する線分は $x = (u^*t - (L/\kappa + \eta u^*))$ と $x = (u^*t - (L/\kappa + \eta u^*) - B_0)$ であらわされる。 q_0 に単位収集量 q_0^* 、 s に代表収集継続時間 s^* を与えて作成した単位図を参考にし

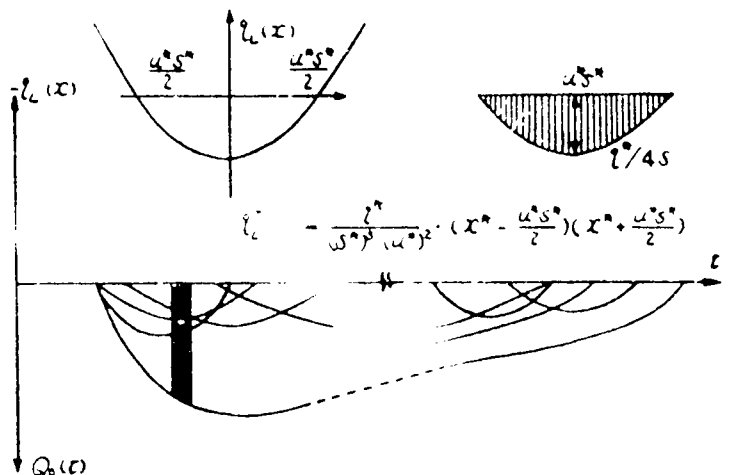


図7-33 単位図を用いた重ねあわせによる流動量の算定

ながら、図7-33のように各区間からの流出図を重ねあわせて合算をおこなう。巾 B_0 で移動速度が u^* のスクリーンでカバーされる部分の面積をもとめて、その値を Q_0 とすればよい。

この方法によれば、流動量への各区間の廃棄物発生量の影響が図上で明確にあらわれているので、流動量を時間的に平滑化したり、ある時間帯の流動量を減少させる場合などに、計画的に変更を加えるべき対象区間・地域の選別が容易であって、その操作も実用的である。

廃棄物の収集運搬は現象的には地域からの物の流出という面を示しているのですが、その解析にあたっては、木の流出を取扱っている水文学の論理構成が重要な手がかりを与える。とくに、以上の論述には降雨流出における単位図法(unit graph method)と共通するものがある。ただし、流出の原動力が自然的要因にある場合と異なり、廃棄物の流出としてみる場合においては収集量の時間変化を示す式(7-62)は、制御対象として大幅に変化させることも可能である。この際に、収集量を解析関数として表現したとしても煩雑な計算をとまなうことも考えられるので、収集量の変化のパターンにかかわらず収集開始時間と継続時間のみに注目して任意の変化を合成する図解法はより有効となるだろう。

つぎに、式(7-58)～(7-60)に示した積分の上端と下端の値をそれぞれの区間ごとにもとの、廃棄物の流動量を代数的に算定した例を示す。図7-34に示す搬入経路をもつ各地区において、表7-8のおおの条件で収集がおこなわれるとする。式(7-57)を用いて計算をおこない、下流端、すなわち処理場搬入直前の流動量の変化をあきらかにする。

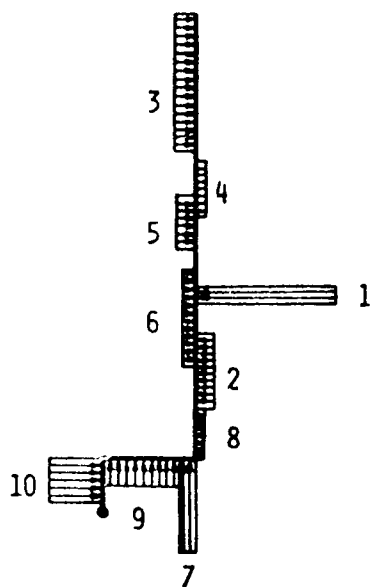


図7-34 収集運搬による流動量の変化に関する検討地域

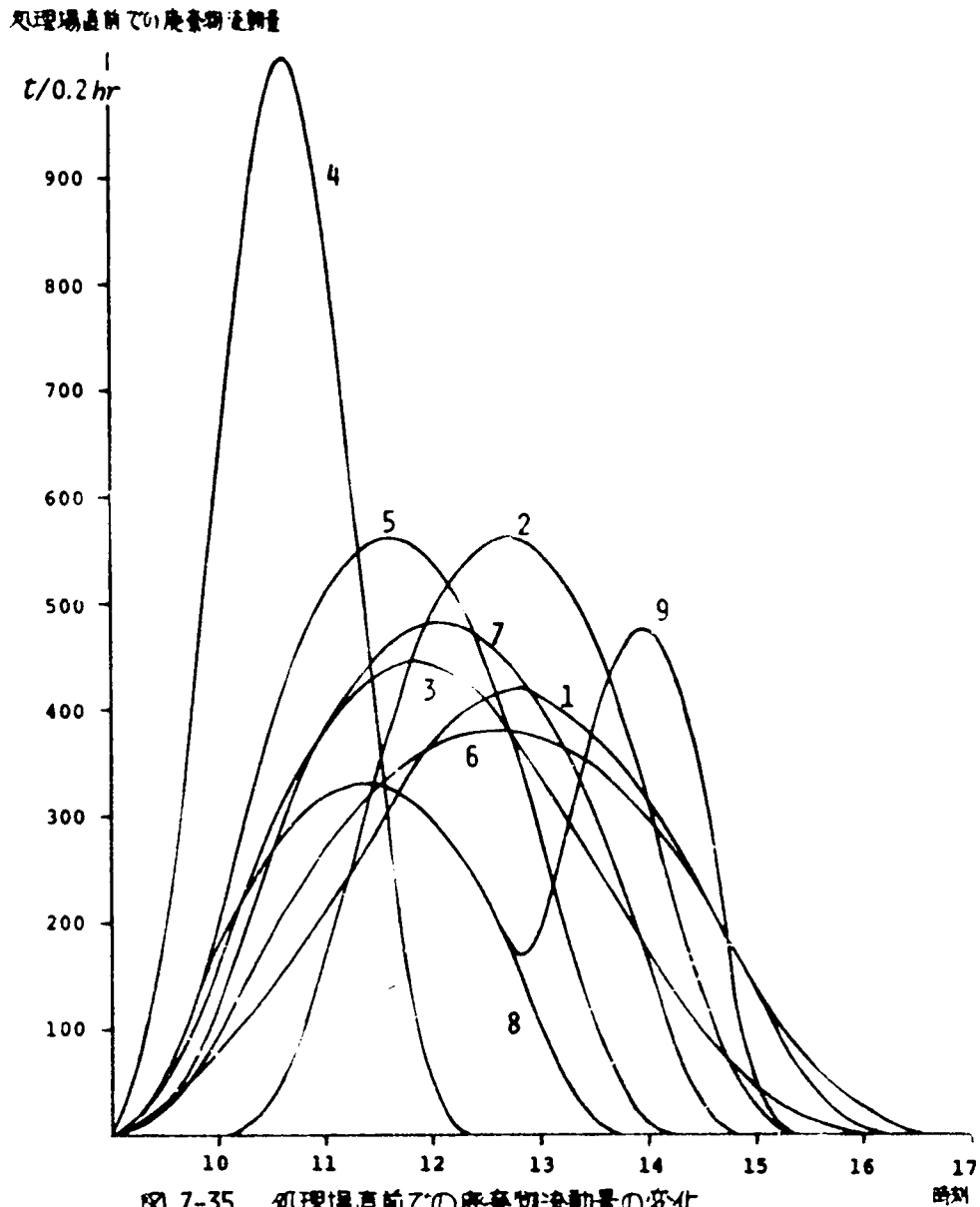
表7-8 対象地域の廃棄物の収集運搬の条件

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
廃棄物発生量		1600	1259	1110	700	509	1183	469	457	1079	917
距離 L		27	17	41	32	35	21	12.5	11	4	0
位置		27~40	17~24	41~54	32~37	35~40	21~30	12.5~17	11~12.5	4~11	0~4
π	B	13	7	13	5	5	9	4.5	1.5	7	4
1	τ	10.50	10.00	11.25	10.75	11.00	10.25	9.75	9.50	9.25	9.00
	S	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	τ	9.75	10.25	9.00	9.50	9.25	10.00	10.50	10.75	11.00	11.25
	S	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	τ	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	S	5.2	4.8	5.8	5.4	5.6	5.0	4.6	4.4	4.2	4.0
4	τ	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	S	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	τ	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	S	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	τ	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	S	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	τ	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	S	4.6	5.0	4.0	4.4	4.2	4.8	5.2	5.4	5.6	5.8
8	τ	6.00	9.00	6.00	6.00	6.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	S	2	4	2	2	2	4	4	4	4	4
9	τ	12.00	9.00	12.00	12.00	12.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	S	2	4	2	2	2	4	4	4	4	4
10	τ	6.00	9.00	6.00	6.00	6.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
	S	1	4	1	1	1	4	4	4	4	4

注) 距離、位置、 π はkm、廃棄物発生量はt/日である。 τ は時刻(時)、Sは時間(時)である。

輸送速度は全域で一定で、その値は 40 km/時 としている。

結果を示したのが図 7-35 であり、かなりの差異がみられる。ケース 4 の場合は全域で同時に収集を開始し、短時間（2 時間）のうちに収集作業を終了しているために、他に比較してほぼ 2 倍のピーク値を示している。収集継続時間が長くなるにつれて、処理場直前の流動量がゼロとなるまでの時間は長くなっているが、共通の輸送時間が加わっているため、ケース 4, 5, 6 の変化のパターンをみるとわかるように、収集継続時間と処理場への搬入継続時間とは比例しない。同じ収集継続時間をもつケース 1, 2 を比較すると、下流側より上流側にいくにしたがい収集開始時間がおそい。ケース 1 は、逆に上流側より下流側にいくにしたがい収集開始時間が遅れる。ケース 2 よりも、かなり低いピーク値を示しており、表 7-8 の条件では約 3/4 となっている。



7-5-2 廃棄物濃度の制御を目的とした輸送計画に関する、線型計画法をもちいた検討¹⁴⁰⁾

いくつかの廃棄物発生源があって廃棄物を複数の処理場へ搬入するという設定がなされると、各発生源ごとにルートと搬入元を一定の基準にしたがって決定することが次の課題となる。選択するルートと搬出先を固定すると、図 7-36 にその例を示すように、地域と線の結合体、ネットワークとして表現することができる。発生源 i から搬出先 j への単位廃棄物量の移動による評価を定量的に C_{ij} であらわし、おのおのの輸送配分量 x_{ij} の一次結合の値の大小として評価基準を与え、同様に x_{ij} の一次結合に量的制約を設けることによって内在する制約を表現すれば、廃棄物輸送という現象が線型計画法の問題として具体化されることとなる。ただし、発着点が同じであっても経路が異なれば変数をかえる（たとえば、 $x_{ij}^1, x_{ij}^2, \dots, x_{ij}^p$ のように）ことにすれば、制約式と評価をあらわす式は一般的に次のようになる。

$$\sum a_{k(i,j)} \cdot x_{ij}^k \leq b_k \quad (k=1, 2, \dots, p) \quad (7-63)$$

$$x_{ij}^1 \geq 0, x_{ij}^2 \geq 0, \dots, x_{ij}^p \geq 0 \quad (7-64)$$

$$z = \sum C_{ij} \cdot x_{ij} \quad (7-65)$$

ここで、線型計画法は、目的の達成度を評価関数 z の値であらわし、その最大または最小の状態をもってシステムの最適状態とするものである。

廃棄物の輸送問題を線型計画法を用いて考察した例として B.P. Helms と R.M. Clark の施設配置計画⁴⁾をあげることができる。しかし、ここでとりあげる輸送経路の選択問題を含めて、線型計画法を適用した具体例は多くはない。このことは廃棄物輸送の計画化への努力が欠けていることを意味するのではない。モデルを複雑にすることよりも、都市廃棄物の輸送の実態的な把握を先行させる必要があり、ASCE においても基礎的な研究がおこなわれてきた^{*}。

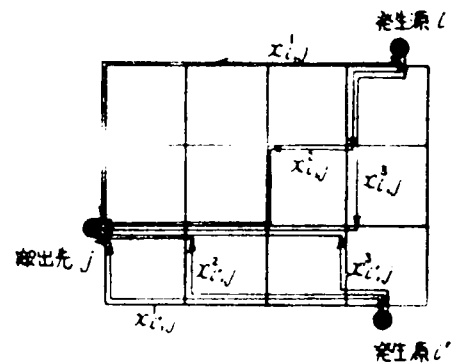


図 7-36 輸送のネットワーク

制約式の不等号を等号に変えるためにスラック変数が導入され、等号条件で表現された連立一次方程式の従属変数の欠損を技巧変数で補うことによって、一般形の線型計画問題は標準型の線型計画問題になおすることができることは周知の事実である。標準型線型計画問題は、一般的に掃出法に基づくシンプレックス法によって解かれることが多い。そのなかでも、実行可能解をもとめる段階と目的関数の値を最大（最小）にする最適解をもとめる段階にわけて計算を進める、2 段階法 (two phase method) は論理的にも明快である。さらに、後に示される双対定理を背景とした双対法をほじ

* たとえば、ゴミの収集密度や収集のための持ちだし場所の位置が収集・運搬の費用に与える効果に関する研究¹⁴⁰⁾や収集運搬車の乗員条件による廃棄物の量に関する検討がおこなわれてきた。しかし、費用面での検討が大部分を占めており、環境に与える輸送の影響を論じたものはほとんどない。

めとして、いくつかの解法がある。線型計画問題のうちでも、制約式と評価関数式が特別な様式である場合には、特別の解法が採用されることがある。その代表的な例は、「Hitchcock の輸送問題」と称される問題の解法である。出発地点(Origin)と到着地点(Destination)ごとの輸送合計量制約値として与えられ、おのおのの地点間に単位輸送量あたりの評価値が設定され、それらの配分を決定する問題であって、シンプレックス・タブロー(simplex tableau)を作成しなくても、簡単なOD表によってハウタッカーの方法(Houthakker's rule)で計算を進めることによって結果が得られる。実際上の問題としても無視できない退化(degenerate)に関する検討をはじめとして、線型計画法自身についておけるべきいくつかの問題があるが、ここでは本題の対象に特に必要な内容に限定して述べることにする。

単位量の移動による評価値として運搬費用をとり、発生源と搬出先の組ごとに経路を一つに限定して全量運搬を前提とすれば、次の式が成立する。

$$\begin{aligned} a_1 \cdot x_{11} + a_2 \cdot x_{21} + \cdots + a_m \cdot x_{m1} &\leq b_1 \\ a_1 \cdot x_{1j} + \cdots + a_i \cdot x_{ij} + \cdots + a_m \cdot x_{mj} &\leq b_j \end{aligned} \quad (7-66)$$

$$\begin{aligned} a_1 \cdot x_{1n} + a_2 \cdot x_{2n} + \cdots + a_m \cdot x_{mn} &\leq b_n \\ x_{11} + x_{12} + \cdots + x_{1n} &= 1 \\ x_{i1} + \cdots + x_{ij} + \cdots + x_{in} &= 1 \\ x_{m1} + x_{m2} + \cdots + x_{mn} &= 1 \end{aligned} \quad (7-67)$$

$$\begin{aligned} z = & C_{11} \cdot a_1 \cdot x_{11} + \cdots + C_{i1} \cdot a_i \cdot x_{i1} + \cdots + C_{m1} \cdot a_m \cdot x_{m1} + \cdots \\ & + C_{1j} \cdot a_1 \cdot x_{1j} + \cdots + C_{in} \cdot a_1 \cdot x_{in} + \cdots + C_{mj} \cdot a_m \cdot x_{mj} \end{aligned} \quad (7-68)$$

式(7-66)、(7-67)の制約下で z を最小にする問題であるが、シンプレックス法では n 個のスラック変数が必要で計算が煩雑となるので、先に述べた Hitchcock の輸送問題の方法で解く方が良い。この運搬費用の最小化問題(問題1)の解法上の事情は、 C_{ij} が運搬による便益を意味してその和を最大とする問題(問題2)の場合において同様であり、さらに、次の2つの問題も同じ数学的構造を有する類似の線型計画問題であることが理解されるであろう。

問題 3 : 搬出先である処理場ごとに処理量が与えられており、それを満たすように各発生源からの廃棄物を運搬し、かつ運搬費用の最小化をはかる問題で、処理能力が不足しているので全面操業を前提として、経済的オペレーションをおこなう場合に設定される。

問題 4 : 搬出先である処理場ごとに処理量が与えられており、それを満たすように各発生源

からの廃棄物を運搬し、かつ運搬による環境保全への害与の度合というようなプラスの評価値の最大化をはかる問題である。

これらはいずれも同じ個数の変数群に分けられ、群1つについて線型結合の制約式が2つあって、一方の変数ベクトルの係数がすべて1である。この種の一般問題では、式(7-67)の等号が不等号(ただし、不等号の向きの組みあわせには、最大値であるか最小値問題であるかによって採用しえないものもある。)であらわされる。

実際の廃棄物輸送を線型計画問題として設定する場合には、輸送の経路上における別の制限因子を無視することができず、そのために経路上の地点ごとに通過量に制約がもうけられることがある。数学的には地点ごとに關係する通過量の和に上限または下限を与えてつくった制約式を、式(7-66)の一つとして加えて解けばよい。交通容量によって通過交通が制限される場合や、政策的な要因にもとづいてある地区の廃棄物の流動量が制限される場合などもその例であり、ここでは、廃棄物濃度を環境因子として道路上の廃棄物流動量に制約を加えた線型計画問題について論じることとする。

流動物質中の廃棄物濃度が地域環境のなかでもつ重要性についてはすでに示されたが、点としての廃棄物処理場への輸送は特定の経路に集中してあらわれる。そのことによる環境の劣化は感情的なものが多く、物理的な背景をみることによって工学的対策が可能となる面もある。家庭廃棄物を例にとると、その運搬による環境の劣化の因子としては表7-9に示すものがあげられる。和田による富山県下での調査結果³⁹⁾では、家庭廃棄物の運搬車に対して「現状のままでよい」とする意見は30%弱であり、不快感を訴えるものや積極的な改善策を望む意見が多くみられるが、収集車と市民との接触回数の平均値は週に2.3回という少ない値を示している。処理場の周辺ではなくとも、輸送幹線に沿う地域での接触回数は1日に数回におよぶと予想されるので、輸送体系の革新や収集車自身の改善とあわせて、適切な輸送ルートの設定をおこなう必要があるだろう。

環境への影響が複合的であることから、指標としては輸送車の台数あるいは廃棄物流動量を採用して、それらに上限値を与えることによって、人口密集地区などの影響度の大きい地域の通過を避けることができる。輸送車の台数あるいは廃棄物流動量の増加に対し、環境への影響の度合いが急激に増加するのが認められるならば、図7-37のように、急増に転じる点の値を上限基準値とすることが可能である。逆に、曲線IIのよ

表7-9 家庭廃棄物の運搬にともなう環境劣化の因子

因 子	内 容、特 性	指標・一過性
視 覚	他の因子と有象とした直観的な因子、視覚レベルとの関係は密。	一過性
臭 気	環境を悪化させるという共通の認識がある。物理量、感覚量。	比較的一過性
ごみ採取	技術的改善が可能。	比較的一過性
騒音・振動	潜在的な悪化が認識される。	累積性
輸送手段の改善	輸送手段に内在。	いずれもある。

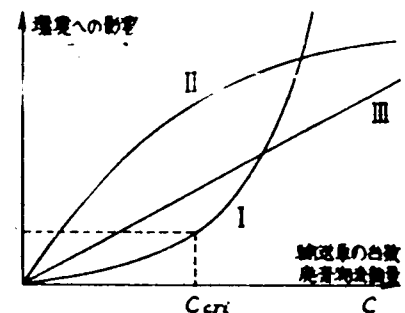


図7-37 廃棄物流動量の基準値

うに、輸送車の台数あるいは廃棄物流動量が増加するにしたいが、環境への影響度*の増加率が減少するパターンであれば、少量の通過量によっても重大な影響をもたらすことを意味し、上限基準値を設定する意義は弱まることとなる。

いま、 n 個の地点で流動量に上限基準値をもうけ、地区 k からの廃棄物発生量 q_k をいくつかのルートごとに配分しながら複数個の目的値に搬入することとする。発生源ごとの各ルートを経由して目的地に搬入する割合を変数 x_i とし、対象地点を通過するルートをもつ変数の係数 a_{ij} を q_k 、通過するルートをもたぬ変数の係数を0とすれば、流動量に対する制約式は次のようにあらわされる。

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot x_i &\leq b_j & (j = 1, \dots, n) \\ x_i &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (7-69)$$

目的関数は、処理場への搬入量に相対的なランク付けをおこなって評価値の和を最大にすることが一般的であり、発生量 q_k と評価値(単位廃棄物量に対する値) η_k との積を C_k とする。次のようにあらわされる。

$$z = \sum_{i=1}^m \eta_i \cdot q_i \cdot x_i = \sum_{i=1}^m C_i \cdot x_i \quad (7-70)$$

同じ発生源に關する x_i の値の和は1をこえることが許されないので、たとえば、

$$q_1 x_1 + \dots + q_k x_k \leq q_k \quad (7-71)$$

のように表現して、式(7-69)の制約式と同等にあつかうこととする。

以上のように定式化された最大値問題に対して、式(7-72)の制約条件のもとで式(7-73)の値を最小にする問題は、双対問題(dual problem)といわれる。

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot y_j &= C_i & (i = 1, \dots, m) \\ y_j &\geq 0 & (j = 1, \dots, n) \end{aligned} \right\} \quad (7-72)$$

$$v = \sum_{j=1}^n b_j \cdot y_j \quad (7-73)$$

双対関係にある上記の問題においては、双対定理(Duality Theorem)によって、式(7-69)~(7-70)が最適解をもつならば式(7-72)~(7-73)も最適解をもち、最適状態での目的関数の値は等しくなる。式(7-72)~(7-73)の意味するところは、発生源から処理場へ運搬することによって生じる効用 η_k をその通過する基準設置地点にかりわけることとして、各地点に固有の効用量(単位流動量あたり)にもとづいて全地点の効用合計量の最小化をはかることである。

* 環境への影響の割合が相対的に、*i.e.*、ある意味で絶対的にあらわれるのは環境的な面であると考えられるが、それを定量化するには各発生源間の距離を必要とするであろう。

廃棄物濃度と密接な関係があり、測定の簡単な代理指標である廃棄物積載率比を用いて、検討を進めることとする。廃棄物積載率比とは廃棄物を載荷している貨物自動車の全自動車台数に対する比である。対象地域は大阪府域で、発生した産業系廃棄物（大部分は土砂・ガレキ）を二つの処理処分施設に搬入する問題である。すでに述べたように、処理処分施設の配置以前に発生量の抑制や施設の機能や地域の分割などについて検討しなければならないが、ここではそれらを別の機会に摸ることとし、発生量と二つの施設の位置が事前条件として与えられたものとしてとりあつかう。

まず、道路状況と輸送距離を考慮して各発生区域からの輸送経路を一意的に定め、廃棄物をすべて5トン載荷の貨物自動車で輸送したときの廃棄物積載率比を現状の交通量からもとめる。大阪市内のように特に交通量の多い部分となるべく避けることを基本とし、国道や府道クラスの幹線道路を選択した。結果をみると当然のことながら処理場に近づくにつれて廃棄物積載率比の値が高くなっており、たとえば施設1の直前で0.348、施設2の直前で0.335を示す。交通量を与えた年度での交通事情のために、主要道路の一部ではみかけ上の高い廃棄物積載率比を与える点が見られる。これらの値を C_1 とし、次に廃棄物総量のかわりに処理処分の必要度の高い一群の廃棄物（ある程度は燃えるが排煙などに問題のあるもの、液状または泥状で燃えないもの）の量を用いて、同様に算定した廃棄物積載率比の値を C_2 とする。 C_2 の値は C_1 の10%以下であるところが多く、その値もほとんど0.01を下回っている。

基準値として、ここでは次式の上限制約値を与える。制約値、さらにはその背景となっている道路上の廃棄物濃度基準値（環境基準の一種である。）の決定には具体的な環境測定などが必要とするので、議論を進めるための暫定的な値を用いる段階にとどまる。

$$C_{cri} = (1 - e_r) \cdot (C_2 - C_1) + C_2 \quad (7-74)$$

ここに、 e_r は住居地域率であって、基準地点の前後あわせて5 kmの区間の道路沿線の住居地域の割合を示し、住居地域の場合は1.0、商業地域の場合は0.5、工業地域では0.0、その他の地域は0.5として該当距離による重みつき平均の値を採用する。算定された暫定基準値を図7-38に示す。一方、各区域からの収集量については、再利用が容易な廃棄物量（金属くず、ガラスくず、スラッグの量）を廃棄物総量より差し引いた値を上限とし、前述の処理・処分の必要度の高い一群の廃棄物量を下限とする制約を設ける。

ここで、二つの処理処分施設への搬入道路を共有させて、廃棄物輸送量を配分する。達成すべき目的としては各区域の人口密度 P_k を重み係数とする収集量 Q_k の一次結合の値を最大化することとする。すなわち、式で示すと、

$$\text{収集量制約式} \quad : \quad Q_{min,k} \leq Q_k = \sum_{i=1}^I (q_k \cdot x_i) \leq Q_{max,k} \quad (7-75)$$

$$\text{廃棄物濃度基準} \quad : \quad \left(\sum_{i=1}^I a_{ij} \cdot x_i \right) / (5 \cdot N_j) \leq C_{cri,j} \quad (7-76)$$

(iii) 目的関数式の特徴は変数の係数がすべて同符号であることで、もし異符号のものが混在しているならば、廃棄物の現存や流動の評価がその地区と他とではまったく正反対であることを示している。すなわち、廃棄物を少なくすることが一般に評価される問題の設定であれば、その特異な地区では集約する方が評価が大きいということになるので、Origin としてではなくて Destination として扱う方が妥当であると考えられる。ここでは目的関数を最大とする課題を対象とするが、最小とする場合には以下の操作を不等号が反対の向きである制約式の各々の値の群についておこなえばよい。

(iv) 下流域の制約条件より考察してゆく。目的関数の係数の大きい変数から、制約式の許容値以内の値を配分してゆく。この場合、Origin1について最小値と最大値が設定されているならば、はじめに最小値の分だけは配分をおえておき、最大値を越えない範囲で配分を続けられればよい。最小値のみの配分で許容値を越える場合は輸送不可能である。

(v) 上流へ逆のばってゆく順序は、目的関数の係数が大きい変数をもつ Origin への経路を優先し、このルート上の制約条件を考察してゆくことになる。

(vi) 途中の制約地点で通過可能量が減った場合には、その上流ではその強い条件を考慮しながら配分をおこなう。ひととおりの配分が終了すれば、すべての制約条件をみたす値の粗を、目的関数の係数が大きい変数から優先的に再決定してゆく。下流にむかって分岐がある場合には、下流部では許容されても上流部で束縛が強くなることもあり、再決定の際にかなり大巾な変動が生じることも考えられる。

以上のような簡単くりがえし配分法によって解を決定する数学的背景は、制約条件の係数がゼロまたは1であることであり、輸送問題としてみると、ある制約地点をとった場合に Origin のちがいでによって制約強度が不変であることによる。もし、Origin によって通過量1単位あたりの評価指標の増加が異なる場合には、その指標の許容値を満足するような配分を上述のような方法で決定することは困難である。

前述の問題の計算結果を示したのが表7-10の解1の値である。第7,8地点の束縛が強いために、先に定めた経路と異なる道路選択は生じていない。これに対して、現状の道路の2倍の車線をもつ道路を想定して、1車線あたり6000台/日の交通量を与えて解くと、右欄(解2)の値を得る。現状では交通量の少ない幹線道路、中流部の飽和状態にある道路に余裕が生じるために、とくに前者を経由する輸送量が少なくなっている。解2では大部分の発生源が解1の量よりも多く搬出することができ、Origin 13,20は、流動量に対する制約が全体として緩和されたときに、より輸送が困難になっている。上流部の制約のために上流からの輸送が抑制されて、下流からの搬出・輸送がある程度はおこなわれているのに対して、制約条件の全域的な緩和が通過優先度の高い上流発生源か

らの廃物輸送量の増加をもたらす、律速的な制約条件の地点が処理場（搬出先）に近くなることによって、下流からの搬出・輸送が抑制されているのである。このことは、循環の流れに沿った容量基準に関する検討*と内容的な関連を有しており、重要なことを示唆している。

一般に線型計画法が輸送問題に有効であるのは、手法自身の構造によるところが大きい。輸送経路に制約条件が設けられるタイプでは変数が多くなるので、前述したような手続きを事前におこなっておくことが有用であることが判明した。

容量基準を満たすように流域都市に汚濁負荷を配分している試み⁽¹⁰⁾においても、制約条件の係数がゼロまたは1となっており、交通量を河川流量とみなすことによって、前述の手続きを適用、あるいは修正の上で適用することも可能である。

さて、興味深い次の課題は、現状の道路網のままでほぼ固定された輸送結果、現状延長型の配分結果しか得られないことを考慮して、一部に新しい路線を設定する場合の効果を把握することであろう。このことは数学的には感度解析の一種であるが、最も簡単な連結道路を設定するだけでも連立方程式群の係数、制約値が変化し、新しい制約条件式が加わる可能性がある。数学上の検討を先行させることが必要と考えられ、今後の課題としておく。

表7-10 搬出先の決定と輸送量の解

	l_{max}	l_{min}	人口密度	解 1	解 2
1	1,103 ^(c)	145 ^(c)	0.157	145 ^(c)	907 ^(a) 196 ^(d)
2	930	86	0.189	86	86 ^(c)
3	293	40	0.348	40	293
4	1,168	133	0.668	33	1,168
5	317	75	0.035	75	75
6	494	133	0.402	133	133
7	1,654	111	0.949	257	1,232
8	2,771	364	1.195	2,771	2
9	2,405	157	1.032	2,405	2,405
10	1,024	96	0.781	96	96
11	2,554	250	1.503	2,554	2,554
12	6,041	148	1.416	450	2,126
13	1,479	17	1.193	91	17
14	3,035	64	0.771	64	64
15	1,476	68	1.388	68	1,476
16	5,323	206	1.741	3,147	5,412
17	4,618	492	1.883	2,588	4,618
18	4,771	372	1.706	372	2,245 ^(a) 519 ^(c)
19	4,190	354	1.959	4,190	2,880 ^(a) 1,310 ^(c)
20	3,837	83	1.462	515	83
21	1,513	248	0.335	248	248 ^(a) 154 ^(c)
22	690	94	0.325	94	94
23	896	60	1.238	896	896
24	2,092	232	0.668	232	2,092
25	1,496	169	0.287	393	1,496
26	2,045	164	0.388	164	643
27	713	153	0.392	153	713
28	590	82	0.108	82	82
29	1,494	216	0.146	890	216
30	1,228	163	0.414	163	1,228
31	4,893	534	0.196	3,467	4,893

注) それぞれの記号の経路地点は次のとおりである。 262×10⁴ m² 流域

(a): 3, 4, (b): 15, 16, (c): 1, 8, 9, (d): 12, 18, 31, 11, 18, (e): 9, 10

(f): 14, 16, (g): 14, 7, 10

人口密度は 1/10⁴ 人/m² である。

7-6 要 約

本章においては、前章までの廃棄物環境の解析結果にもとづいて、物質収支式と物質代謝式（運動式）によって計画的に廃棄物の流動を制御する方法を提示し、ケーススタディをおこなって計画原理として定着させることに試み、廃棄物輸送問題を含む現実の問題への応用の方向について述べた。

7-2においては、物質収支式と、原単位法の単純なインプットとアウトプット間の関係をも包括する物質代謝式とを連立することによって、廃棄物の配分法を導いた。それは、蓄積と輸送のそれぞれに属する困難度 α, β の値を決定することによって配分が実施されるという構造をもっている。その特徴は、第8章において再述するが、計画段階の指標として採用すべき因子が複数ある場合の比較・検討をも可能とする柔軟性をもち、フローとストックというきわめて根源的な二つの要素への配分として計画原理を表現している。ことをあげることができる。フローとストックを同時に結合して論じることの必要性は、環境問題のみならず経済的な問題にもみられ、本論文で定式化したモデル構造は十分に確立していない面もあるが、それを基礎に発展させてゆくことを前提に骨格部分はほぼ組み立てられたものと考えることができる。

配分値を決定的に左右する困難度 α, β の値の組について理論的な考察をおこない、 $\alpha \cdot \beta = \pm 1$ なる関係が物理的な意味を適切に表現していることをあきらかにした。ついで 7-3-1では、4組の因子によって相対的評価係数らの値を決定し、廃棄物配分のケーススタディを実施した。その結果をみると、指標の選定によってかなりの差異が生じていることは当然であるが、その差は基本的には困難度 α, β の単独の値にもとづきながらも、 α と β との関係によって影響されていることが再確認された。たとえば、 β が大きい、すなわち輸送することの困難度が大きいにもかかわらず、蓄積することの困難度も大きいために、結果的には輸送項への相当の配分が生じている例もみられた。全体的傾向としては、 α, β を規定する相対的評価係数らの値の分布によって予想される範囲内の結果が得られたが、これは、二大都市域をⅡ、Ⅴに配してきわめて現状制約型*の地域区分をおこなったことにもよるであろう。

7-3-2ならびに7-4においては、配分方法の実際的な手続きと平行して、配分にとって重要なかわりをもついくつかの点について考察を加えた。それは、配分のための地域区分、配分の際に指標とすべき因子の選択、さらに配分法の手法上の拡張、ならびに配分の結果を保証するものとしての容量概念（環境容量）に関する課題である。これらの課題の検討結果を考慮して再び配分を実行することが有意義であったが、本論文ではそこまでするならなかった。*

地域区分に関しては、区分のための指標値が定量化しえた場合の簡便な取扱い法を提示するとともに、多くの指標をもちいた地域区分に共通するであろうと考えられる一般的なルールを簡明にまとめた。前者の方法は、特徴をできるだけ顕著にするように地区をみながら概略的に地域を区分す

* 現在の地域の動向と並走するような地域間関係があらわな地域分割。例えば、高岡両市が平面的な地区として配されている。

** この章中のひとは、それぞれの課題を十分に定量的に考察しうるだけのデータがないためであり、やはり、第3, 4, 5章の環境調査を含む各種の調査を実施して、データの整備に努めることが重要である。

る場合にも有用な考え方である。

地域区分のもつ重要な意味を本論文では十分に取扱うことができなかったが、ある段階では配分量そのものを左右するようなかかわり方もあるであろう。たとえば、区分された地区間の交換（流入、派出）をできるだけ少なくするという基準にもとづいて地域区分を実行するとすれば、潜在廃棄物あるいは完全廃棄物の流動の起点と終点を包み込み、同一地区内に組み入れるような配分となる。逆に、地区間のフローがもっとも目立つように地域を区分し、配分を実行することもできるであろう。前者の場合、物質流動あるいはその背景である物質循環に関して部分的なクローズド・システム化がなされたともいえるが、主として終点において受ける質的な変化（処理、処分）を検討しないと、質的な代謝の面を含めた判定はできない。ただ、プラント内部や事業所レベルでのクローズド・システム化と地域レベルでのそれとの関連を考える上で、地域区分が重要な位置を占めていることはあきらかであり、さらに、地域区分と配分の交互作用に焦点をあわせたアプローチを迫ることが必要となっている。

配分の際には指標とすべき因子の選択に関しては、因子関連マトリックスを提示し、複数の回答者の思考を論理的に整理、表現する方法を示した。その方法は利害の対立する現実問題においても論理を整理する上で役立つが、潜在廃棄物環境の計画化にとって、当面は、因子ごとの廃棄物の配分結果とそれぞれの因子間の関係との連関をあきらかにする方向でさらに検討することが必要である。

本論文では、容量概念、環境容量についてはその考え方を整理した段階であり、廃棄物の配分に直接的なかわりをもつ環境容量の定量的考察には到っていない。むしろ、後進型の単収容量に関する概念としての環境容量というよりも、廃棄物配分法そのものの構造のなかにあるストック的余裕度と環境容量としている傾向が強い。配分法の全体的構造を環境容量とすることも、それらを背景として事前に決定された容量基準とみたとすように配分を実行することは、まず第一に試みるべき課題であろう。

配分法の手法上の拡張については、7-4-3 で二つの検討をおこなった。ひとつは、 (α, β) の値の組から輸送量を決定する過程を多地区の場合にも拡張するとともに、配分結果によって生じる流動物質中の廃棄物濃度がちやうど、それをもたうす困難度の組 (α, β) を導くように修正したことである。さらに、 (γ_a, γ_b) を介して (α, β) を規定する因子として、（静止物質中の廃棄物濃度、流動物質中の廃棄物濃度）を採用し、輸送時の廃棄物（貯留分も含む）の変化にともなう静止物質中の廃棄物濃度が増加するというモデル構造を作成した。与えた数値そのものは仮想的な値であるが、蓄積量ならびに輸送量と静止物質中ならびに輸送物質中の廃棄物濃度とが、循環的に関係するところの動的なシミュレーションの方法を提示したといえる。しかし、困難度 α, β の関係は $-\alpha \cdot \beta = +1$ に固定しており、この関係式自身は主として当該アロックスのみの輸送と蓄積との間の制約を表現したものであるので、より広範囲に適用される制約がみいだされる場合、開

係式自身を計画の制御対象として変化させる場合には、異なった取扱いを必要とする。すなわち、式(7-5)、(7-6)に対応して、 $f_0(\alpha, \beta) = 0$ を陰(shadow)の関係式として独立に表現することになる。

さて、蓄積ならびに輸送の困難度(α, β)は社会経済的な見地からすると、廃棄物を自区内で処理することによる費用と他地区へ輸送する際の費用の間の関係を示していると解することができる。従来は発生源における各種の費用の見積りが直接的な私的費用のみに限定されるところから、他地区へ輸送する費用の方が安価で $\beta < \alpha$ となり、輸送項への配分率 > 蓄積項への配分率となっていたものと考えられる。環境回復の費用を含む社会的費用を考慮すると、 α, β の大小は逆転することは十分に予想される。前述したように、(α, β)は陰の関係式(shadow formula)として廃棄物の流動関係を伴っており、今後はさらに、(α, β)の関係式に社会経済的な意味づけを加えてゆくことが必要である。この場合、 α, β の間の無差別曲線を想定することが第一歩となるであろうが、たとえば無差別曲線が負の傾斜をもつこと、原点に対して凸であること^{*10)}というような従来の市場論、消費者行動論にみられる取扱いの具体的な意味を対象に応じて再検討することが不可欠である。

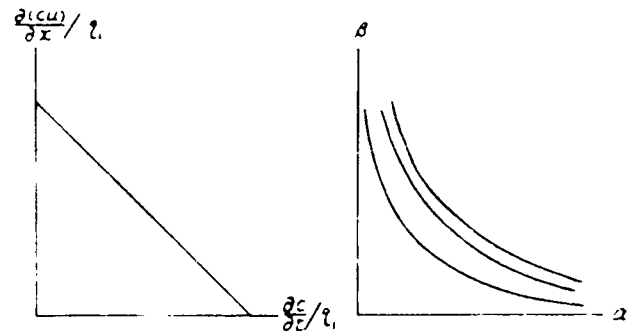


図 7-39 困難度 α, β に関する無差別曲線

7-5においては、廃棄物の地域配分法によって決定された廃棄物の面的な流動を線的に縮小し、発生源と処分地とを結ぶ直接的な輸送という視点から考察を加えた。まず、7-5-1では廃棄物処理場に連結する一次元的領域のおおのほに収集開始時間、収集継続時間と与え、収集作業能率が収集開始後に速増し、終了前に速減するような収集パターンのもとでの流動量の変化を検討した。道路上の廃棄物流動量を基準値以下におさえるという立場からは、開始時間を上流側地域ほど早くすることは避けるとともに、収集継続時間を大きくすることが妥当であることがあきらかにされた。現実的には、交通量が多い時間帯を避けるという輸送効率上の見地や廃棄物積載自動車台数率(流動物質中の廃棄物濃度の簡易代替指標)を低くするという環境工学的見地をはじめとして、いくつかの考慮すべき点があるが、これらを組み入れる際にも本論文で示した図解法やモデル構造は有用であろう。

ついで7-5-2では、複数の処理場への廃棄物の搬入経路を線型計画をもちいて選択、検討した。現状の道路交通を用いた解では、道路上の廃棄物濃度基準を暫定的に与えるための仮想的な輸送経路と大幅に異なっていないが、これは仮想的な輸送の段階で道路上の輸送量が平均化するよう

* 困難度 α, β の関係を $f(\alpha, \beta) = k$ とすると、 k が何を意味するのかを明確にする必要があるが、もし k の値を固定すると次のことが成り立つであろう。 α, β が同時に大きくなり、あるいは同時に小さくなることは、最終的に二重切とせよられた段階では、ほとんどありえないと考えられるので、無差別曲線は負の傾斜をもつであろう。また、蓄積の困難度が増加するにしたがって輸送の困難度の減少割合 $-(\partial\alpha/\partial\beta)$ は小さくなることが推定されるので、無差別曲線は原点に対して凸であるだろう。しかし、議論を果敢するにはより深い検討が必要である。

経路を選択したことによる。他方、車線数を2倍にして1車線あたり6000台/日の交通量を与えると輸送経路の変更が生じ、隘路となっていた輸送幹線への配分が多くなるという結果を得た。ここの輸送経路と処理場は、廃棄物の地域配分法における (α, β) の組のうちで β のみの値をもとに選択されているともいえるだろう。そこで、経路 (ℓ) ごとに設定された発生源 i の輸送困難度 $\beta_i(\ell)$ の値を輸送結果から逆算する試みを通して、地域配分(面的配分)と道路輸送(線的配分)の関係を把握することが当面の課題であろう。

第8章 物的要素の流動概念の総合的検討

8-1 概説

本章は、廃棄物の地域配分法を拡張し、物的要素の流動概念を総合的に検討するとともに、環境計画の手法として定着させるために、関連モデルとの比較検討を主目的とする。まず、地域配分法の基本をなす物質収支式と物質代謝式が一般の物的要素の供用から廃用を含む広義のサイクルに対しても適用できる面があることに着目し、ついで拡張された流動方程式にもとづいて、地域計画レベルでの物的要素の配置をおこなう方法を明らかにする。

8-2では、物的要素の流動概念について述べ、適用の限界を求め、流動概念の構成のなかで異なった物的要素に共通する部分と共通しない部分を分けて考察をおこなう。物的要素の流動概念を用いて計画化をはかる場合に、住宅、緑、環境汚泥などの対象によるアプローチの差異について検討するとともに、全体としてかなり広範に適用しうる計画概念であることを実証する。

8-3-1では、地域計画においてもういられてきたモデルの代表として、Garin-Lowry のモデルとその発展型をとりあげ、潜在廃棄物環境を対象として適用する場合のモデルとしての特性について検討する。ついで8-3-2では、環境問題にも適用されてきたシミュレーションモデルの代表として、Forresterのシステムズ・シミュレーションモデルをとりあげ、潜在廃棄物環境を対象として適用する場合のモデルとしての特性について検討する。さらに8-3-3では、これら二つのモデルを、拡張された広義の流動概念から改めて考察し、それらをも含めた計画概念としての一般化の方向について述べることにする。

8-2 拡張された物的要素の流動概念

地上の物体は人間社会との関係で一定の機能を有している。地域計画や都市計画においては、目的とする状態をつくりだすための機能の利便な面に注目しながら、ものの配置をおこなってきたといえる。対象としているものは多岐にわたるために、それぞれの特性の把握がまず優先され、対象ごとの計画化がおこなわれる一方で、それらとはかなり離れた位置から社会システム一般論が展開されてきている。

ところで、前章までの展開では、地上の物体を潜在廃棄物として考えることによってその代謝ならびに流動を検討してきたが、実際には 5-3-1 で分類した通常の製品レベルでの考察に大部分を費している。一級上のレベル^{*}であるシステム装置の範疇には、都市施設や生活環境施設が含まれ、これらは地域あるいは空間の計画において重要な役割をはたす。建築物の例をあげるまでもなく、それらの構造物や施設も身は一定の機能を果たしつつ老朽化し、やがて廃用される。その過程はやはり代謝過程であり、長期の所要時間を示すとしても、時間スケールを大きくとることによって計画に組みこまれるべき性格のものであることが判然とする。その第一歩は施設の更新や拡張を主題として試みられている⁶⁾が、潜在廃棄物の概念を用いることによって施設の代謝はより明確となる。物質-潜在廃棄物系の名称は製品レベルでのみ用いているのではないが、ここではシステム装置の段階の物的対象とくに物的要素とよがごととする。

物的要素の供用から廃用にいたる過程ならびにそれに接続する変化と移動は、次のような一般的特徴をもっている。

(i) 対象とする物的要素を他の物的要素と区別する特性は、物的要素の供用から廃用にいたる過程で基本的に保持されているが、廃用の時点では顕在的に増大してきこ別の特性が質的な変化をともなって顕在化し、その後は別の特性によって物的要素は規定さる。物的要素としての物質サイクルは供用から廃用までであり、廃用後は若干の残余を置いて別の物質サイクルに転入する。

(建物に廃物化すると、建物としての機能を停止し、事実上はガレキに転化する。)

(ii) 条件によって、廃用後もそのまゝサイクルが延長されて構造的変化が生じる場合もある。このとき、他の物質サイクルへの転入がおくれるにとどまるのか、あるいは歪が拡大して他のサイクルの破壊をもたねき、発散型の効果をもたらすかによって、環境の質的な状態を大きく左右する。(脆弱化した河川堤の供用は災害をもたらす危険性がある。)

(iii) 物的要素が供用されて廃用される過程は、物的要素の投入により繰返される。建築物について葉竹⁷⁾が述べたように、基本的機能のみが保存、伝達されるところの進化形態をとる。

(水道施設の進歩は、安全に衛生的に水を配するという基本的機能にもとづいている。)

(iv) その過程は物的要素の新たな使用をうながす機能的要求が社会的に形成されることによ

* 5-2-1 で分類した現存形態の上位に位置するが、マルチレベルの概念での上位のレベルであるといえ、製品と結合したものであるものとしての新たな機能を有する。

て発展するので、機能が構成する空間（機能空間）において物的要素が代謝されると考えることができる。逆に物的要素の代謝によって機能は変化するが、人間の生存に関連した機能の根本的な変質はほとんどないと考えられる。

(V) 物的要素の代謝過程においては、自らの代謝に必要な物質を消費するので、一般的にはより低いレベルの物質のサイクルが形づくられる。物的要素が構築的代謝をするのに対して、低いレベルの物質サイクルはエネルギー代謝を示す。

(VI) 代謝過程においては容器と内容物、あるいは媒体と媒質という形の物質相互間の階層の重畳性がみられる。このうち、地域なり都市という概念は最も上の階層の容器とみなすことが可能である。

(VII) 場所的空間としての都市、地域、国土といったレベルの差は、質的代謝の重畳性のみでは表現できない。単純な面積的広がりとしてのみ空間の差をとらえるのは無意味で、物的要素の代謝過程での場所的空間の相互の関係（たとえば、代謝の效果がおよぶかどうかどうかといった視点）で検討されるべきである。

(VIII) 物的要素のひとつひとつをみると、供用から廃用にいたる過程ならびにその前後における場所的流動は少ない。供用場所への流動や廃用後の廃物としての流動は、形をかえて（下のレベルの部品に分離されることが多い。）おこなわれるのが普通である。これに対して、物的要素の代謝がくり返される長い期間での空間的位置の分布の変化としての場所的流動の概念が重要な意味をもつ。

つぎに、物的要素の流動概念について検討する。物的要素の代謝と流動の場としても、図 2-2 に示した廃棄物体を共通的に設定することができるだろう。廃棄物体の x - y 平面は実際の地域と対応していて、その広さの差異はあるものの、本質的には物的要素の種類によりず共通する。これに対して z 軸である価値軸はおのおのの物的要素によって異なり、もし相対的表示で統一するとすると、 z 軸方向の速度（代謝速度） w の値が相当の μ をもつだけでなく、 w の z 軸方向の分布についても物的要素ごとの形態の差がみられるであろう。

物的要素の収支を考える場合には、対象とする物的要素に特有の時間スケールがあり、反応による離脱分に相当する項の表現にも特有なものと考えられる。収支式を式 (2-1) と同様

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial (cu)}{\partial x} + \frac{\partial (cv)}{\partial y} + \frac{\partial (cw)}{\partial z} = q \quad (8-1)$$

と表現するとしても、 c , x , y のスケールは物的要素の地域空間での密度とその増減率に相應する規模としなければならない。ここに、 c は物的要素の現存密度を、 x , y は地域的二次元軸を、 u , v は物的要素の上記の (VIII) の意味での移動速度を意味し、 w は代謝速度で $w \cdot c = z$ と変換されることは式 (2-1) の場合と同様である。

これに対して物的要素の機能^{*}の評価は、物的要素もしくはそれを構成している物質の保存量と

^{*} エロクアビリティによってパーセントリニアが表達されるというような関係式の内容をも含めて、物的要素の機能的な相互関係を意味する。この場合の機能とは、明確に規定されている機能のみに限定せず、広義に、物的要素の空間的・時間的存在（量體）がもたらす相互関係のことである。いくつかの視点からの評価は平行的にもとらえられるべきで、かならずしも一元化を必要としない。

関連があるとしても、物質が単純である場合に比較して、帰納的に評価式を導くことははるかに困難である。物理化学的保存量である運動量や力学的エネルギー、熱エネルギー、エントロピーなどが、本来の意味において物的要素の代謝過程で保存される（あるいは変化に法則性がある）ことは特殊な場合にかぎられる。しかし、物的要素の代謝を支配している社会的要因が、現象的に式(8-1)の各項の関係を一定の形で確することはありうる。しかも、計画的な管理が式(8-1)の各項に与える具体的な効果は、定式化されることが望ましいことはいうまでもない。この場合、

$$f(c, u, v, w, x, y, z, t) = 0 \quad (8-2)$$

の関係を一挙に explicit に表現することは不可能であって、たとえば、

$$f_1(c, u, x, t) = 0 \quad (8-3)$$

$$f_2(c, w, z, t) = 0 \quad (8-4)$$

のように分離して検討すべきである。

式(7-3)あるいは式(7-5)は、蓄積増加量 $\partial c / \partial t$ と輸送項の値 $\partial(cw) / \partial x$ (あるいは $\partial(cu) / \partial x$) に相対的評価を与える形で、式(8-4)、(8-3)を定式化したものである。すでに述べたように、式(7-5)、(7-6)は潜在廃棄物環境の計画化をおこなう場合の基本式としての包括性と柔軟性をもっている。柔軟性は係数である二つのディフィカルティが種々の関連因子によって比較的自由に設定することができる点にある。このことは逆にいうと式の解が一意性を欠くことに通じるが、この点については次のような解法をすることができる。

人間社会の営みによって生じる物的要素の代謝と流動はあきらかに社会現象であるが、物的要素の代謝と流動にも自然界の法則が制約条件として、ときには律速因子としてきいていることも事実である。自然現象としての因子の相互関係が評価式を一意的に決定するという面が強い場合には、次のように現象から逆に困難度が決定される。もし、蓄積増加量と輸送項の値が因子 x によって、

$$\frac{\partial c}{\partial t} = g_1(x) \cdot q_1 \quad (8-5)$$

$$\frac{\partial(cu)}{\partial x} = g_2(x) \cdot q_1 \quad (8-6)$$

のように把握できたとすると、収支式である

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu)}{\partial x} = q_1 \quad (8-7)$$

を用いて、二つの困難度 α, β の関係が表現される*。

$$\beta = 1 + \frac{g_1(x)}{g_2(x)} \cdot (1 - \alpha) \quad (8-8)$$

* $\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\beta-1}{\beta-\alpha} \cdot g_1(x) \cdot q_1, \frac{\partial(cu)}{\partial x} = \frac{1-\alpha}{\beta-\alpha} \cdot g_2(x) \cdot q_1$ の両式より、 $g_2(x) \cdot (\beta-1) = g_1(x) \cdot (1-\alpha)$ となる。

ここで、 α と β との間で満たすべき条件式1つ(たとえば、7-2で示した式(7-9))を計画的見地から与えることによって、 x と α, β との関係が定まり、代謝式

$$\alpha \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + \beta \cdot \frac{\partial(Cu)}{\partial x} = q_1 \quad (8-9)$$

がひとまず確立する。 q_1 は式(7-5)と同様に、 $\partial C/\partial t$ で蓄積増加量を計量している空間に対する転入量を意味するが、流動概念の拡張にともなう q_1 の内容の拡張については表8-2に関する部分で詳述する*。そこで、式(8-7)と式(8-9)を用いて物的要素の流動を検討することができる。このとき、式(8-5)、(8-6)は、 α と β との間の条件式を介して数学的には元と同じ意味をもつが、二つの項に独立して評価されていた因子 x が物質収支式をみたすように内的に組み入れられたと考えることもできる。

社会現象である場合、支配因子が単独で明確であり、かつ式(8-5)、(8-6)のように因子 x を用いて一意的に表現しうるのであるならば、同様の経過により式(8-9)を評価式として用いることができる。しかし、この場合にはこれらの式は現象面での数値の関連を示してはいるが、因果関係的な強い拘束式ではなく、代謝ならびに流動の原動力を内包しているとはいいきれない。通常は、社会現象として多くの因子が関係しており、主要な面からみた支配因子ごとの価値基準が異なる場合が多い。7-3-2のケーススタディで示したように、いくつかの因子を指標として蓄積増加量と輸送項の値をもとめて、それらを比較する際の共通式として、式(8-9)は大きな意義をもつ。

以上に述べたことで式の包括性の一端も説明されるが、より重要な意味は次の点にある。すなわち、相対的静止の段階である貯留と変化の段階である場所的流動、質的代謝は、物的要素の現存あるいは運動の形態の基本的因子である。さらに抽象的には、静と動、ストックとフローという概念を内包しているために、式(8-9)が相当の包括性を有しているのである。

つぎに、場所的流動と質的代謝を同時に組み入れた評価式への拡張をおこなう。廃棄物体を z 軸のいくつかの値で層に区切り、図8-1を参考に

$$\begin{aligned} \frac{\partial(Cu)}{\partial z} \Big|_{z=z_1} - K_1 \cdot C_1 &= q_2 \\ \vdots & \quad \vdots \end{aligned} \quad (8-10)$$

$$\frac{\partial(Cu)}{\partial z} \Big|_{z=z_n} - K_n \cdot C_n = q_{n+1}$$

のように代謝量を示すと、 z 軸方向の一次元式は、

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} + \frac{\partial(C_1 u_1)}{\partial x} = q_1 - K_1 \cdot C_1 \quad (8-11)$$

* 278頁を参照

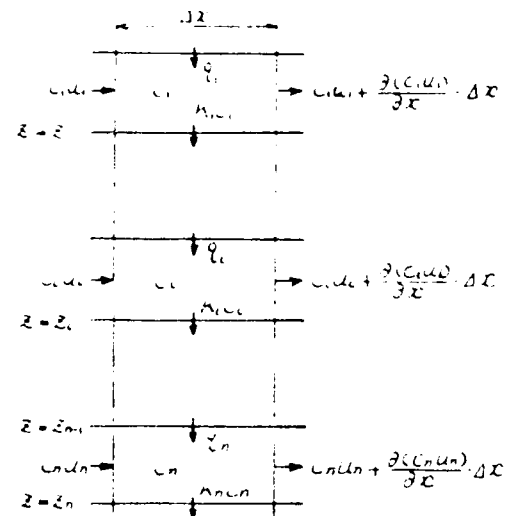


図 8-1 廃棄物体と二軸方向の流動

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial(C_i u_i)}{\partial x} = q_i - K_i \cdot C_i \quad (8-12)$$

$$\frac{\partial C_n}{\partial t} + \frac{\partial(C_n u_n)}{\partial x} = q_n - K_n \cdot C_n \quad (8-13)$$

のように示される。任意の段階の収支式に対応する評価式は、

$$\alpha \cdot \frac{\partial C_i}{\partial t} + \beta \cdot \frac{\partial(C_i u_i)}{\partial x} = q_i - K_i \cdot C_i \quad (8-14)$$

であらわされる。

これに対して、各層の蓄積増加量と各層への転入力、転出量に関して、代謝軸方向の収支式と評価式(代謝式に相当する)を考えよう。代謝軸方向の量を離散的に示しているが、式(8-12)はあきらかに収支式であり、連続的な表示である式(2-8)に対応している。式(2-24)に対応する代謝軸方向の離散的な評価式は、

$$\alpha^* \cdot \frac{\partial C_i}{\partial t} + \beta^* \cdot (K_i C_i - q_i) = \frac{\partial(C_i u_i)}{\partial x} \quad (8-15)$$

であるが、貯留空間への転入量を意識的に区別し、転入量が蓄積増加量と転出量に配分されることを表現すると、

$$\alpha^* \cdot \frac{\partial C_i}{\partial t} + \beta^* \cdot (K_i C_i) = q_i - \frac{\partial(C_i u_i)}{\partial x} \quad (8-16)$$

の形の評価式が得られる。

式(8-16)の意味での代謝軸方向の評価式とx軸方向の評価式を連立させると、

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{(1-\beta)(1-\beta^*)}{(\alpha^*-\beta^*)(\alpha-\beta)-(1-\alpha)(1-\alpha^*)} \cdot q_i \quad (8-17)$$

$$\frac{\partial(C_i u_i)}{\partial x} = \frac{-(1-\alpha)(1-\beta^*)}{(\alpha^*-\beta^*)(\alpha-\beta)-(1-\alpha)(1-\alpha^*)} \cdot q_i \quad (8-18)$$

$$K_i C_i = \frac{-(1-\beta)(1-\alpha^*)}{(\alpha^*-\beta^*)(\alpha-\beta)-(1-\alpha)(1-\alpha^*)} \cdot q_i \quad (8-19)$$

となる。

収支式である式(8-12)の左辺の第一項、第二項、右辺の第二項のそれぞれに直接に困難度を係数として乗じる理由は、第一に貯留空間の重要性を強調して、転入力 $q_i = (K_i \cdot C_i)$ を蓄積増加量と場所的流動量、蓄積増加量と代謝軸方向の転出量の二つの組について評価をおこなうことを期待しているからであり、第二に直接の困難度をもつ評価式一つと収支式とを連立させることによって各項への配分量は決定されないことにある。式(8-17)、(8-18)、(8-19)は蓄積増加量、場所的流動量、代謝軸方向の転出量のそれぞれを示す。

これらの値を算出する基礎式である三つの式，式(8-17)，(8-18)，(8-19)を，物的要素を含めた潜在物質—廃棄物系の流動概念にもとづく拡張された配分式と称する*。

逆に，式(8-17)，(8-18)，(8-19)の左辺の値が環境調査によって把握された場合，あるいは前提条件として与えられた場合に困難度の値を決定するためには，式(8-17)，(8-18)，(8-19)のみでは式が一つ不足しており，式(7-9)に対応する独立な式，

$$h(\alpha, \beta, \alpha^*, \beta^*) = 0 \quad (8-20)$$

が必要である。

流動概念の拡張にともなって検討しなければならないことは，濃度 c で表現してきた内容が対象物質のレベルによってどのように異なるかという点である。廃棄物体で三次元的に表現された濃度 c は，単位面積あたり単位価値軸長さあたりの現存量と意味する。この濃度概念は物的要素を含む上位の包括的な物質を対象とする場合には適合しているが，単純な物質や汚濁物質の濃度概念としては共通しないところがある。いま，水中における汚濁物質を水の単位容積あたりの量で表示したとする。ところが，水も地球上の三次元空間において分布密度を有している。さらに汚濁物質と考えているもののなかに異なる形態のものが含まれているならば，それらの二つの物質の間にも濃度という概念が成立することになる。

表 8-1 三つのレベルの濃度概念

	濃 度 概 念 - 例
物 質 地域空間	総積率(地球面積率) 降雨量 は地価積率 人口密度
廃棄物 物 質	水中の汚濁物質濃度(SS, BODなど) 赤坂率(汚水/清浄水) 廃材入中の粉塵量
有害物質 廃棄物	汚泥中の金属含有量 地下はく露中の放射能

このように潜在廃棄物環境を考える際には，濃度概念を少なくとも三つのレベルに分割することが必要である。

表8-1は三つのレベルの濃度概念の例を示したものであるが，より多くの段階の媒体と物質の関係において異なった濃度概念がみられるのであれば，その数に分割することが妥当である。(物質/地域空間)のレベルの濃度は，

都市計画や地域計画の分野で有用であり，いくつかの計画基率として取り入れられている。(廃棄物/物質)レベルの濃度は，河川水質の制御の対象であるのをはじめとして，衛生工学の多くの分野で採用されてきた。媒体が大気や水である場合には媒体が広い空間に存在していることから，このレベルの濃度と(廃棄物/絶対空間)レベルの濃度とを事実上は同一視していることもある。(有害物質/廃棄物)レベルの濃度とは，かならずしも有害物質にかぎらないで，(化合物/混合物)レベルの意味で環境面での特徴的な現象に対応して表現したものである。

* 配分式の適用対象の拡大の方により大きい意義があるが，それについては後述する。また，一時的に拡張された配分式を用いることは正しくなく，組織設定によっては，代謝軸方向の流れを KC というように一括してマクロに表現する方が有効である場合もある。

7-2-2の環境容量に関する試論でもふれたが、生産活動や消費活動は直接には上位の第一のレベルで環境に影響を与えるが、環境に顕在的な効果があられるのは下位の第三のレベルであることが多い。物質サイクルの前段部ほど第一のレベルで物質の認識がなされ、後段部ほど第三のレベルでの認識がおこなわれることと軌を一にしている。潜在廃棄物環境の計画化に際しては三つのレベルの濃度の関係を把握することが重要な課題であるが、ここでは次のような基礎的な考察をおこなうにとどめる。

問題を簡単にするために一次元モデルに限定し、(物質/地域空間)レベルの濃度を C_m 、(廃棄物/物質)レベルの濃度を C_w とする。上位の濃度 C_a について収支式が

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} + \frac{\partial (C_m u_m)}{\partial x} = q_m \quad (8-21)$$

のように成立するが、他方、

$$C_a = C_m \cdot C_w \quad (8-22)$$

であられる C_a についても、

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} + \frac{\partial (C_a u_a)}{\partial x} = q_a \quad (8-23)$$

という形式で連続式が成立することは、ひとまず認めることができる。式(8-22)より C_m を得て式(8-21)に代入すると、

$$\frac{\partial (C_a / C_w)}{\partial t} + \frac{\partial (u_m \cdot C_a / C_w)}{\partial x} = q_m \quad (8-24)$$

$$\left(\frac{\partial C_a}{\partial t} + \frac{\partial (C_a \cdot u_m)}{\partial x} \right) = C_m \cdot \left(\frac{\partial C_w}{\partial t} + u_m \frac{\partial C_w}{\partial x} \right) = C_w \cdot q_m \quad (8-24)$$

となる。そこで、

$$E = \frac{1}{C_m} \cdot \left(\frac{\partial C_a}{\partial t} + \frac{\partial (C_a \cdot u_m)}{\partial x} \right) - C_w \cdot q_m = \frac{1}{C_m} \cdot \left(\frac{\partial C_a \cdot (u_m - u_a)}{\partial x} + q_a - C_w \cdot q_m \right) \quad (8-25)$$

を用いて

$$\frac{\partial C_w}{\partial t} + u_m \cdot \frac{\partial C_w}{\partial x} = E \quad (8-26)$$

のように、 C_w に関する収支式が誘導できる。このままでは E 自身が相当複雑であるために補正項として取扱うことは困難である。

極端な場合として、速度成分の重ねあわせが可能であり、

$$u_a = u_m = u_w \quad (8-27)$$

と表現できて、かつ、 q_m の質すなわち（廃棄物／物質）レベルの濃度が C_w に等しいと仮定すれば、

$$q_a = C_w \cdot q_m \quad (8-28)$$

であるから、少しは簡単な補正項となる。

$$E = \frac{1}{C_m} \cdot \frac{\partial (C_a \cdot U_w)}{\partial x} \quad (8-29)$$

式(8-26)は（廃棄物／物質）レベルの濃度の収支式を（物質／地域空間）のレベルの速度に注目して表現したものであるが、右辺に相当する式(8-29)も明快とはいえず、第二段のレベルの速度を組み入れた一次元収支式の表現は相当に複雑である*。

ところで、主として第3章で検討した流動物質中の廃棄物濃度 ρ は、環境構成物質を媒体とする完全廃棄物の濃度を意味する第二段のレベルの濃度概念であり、

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \cdot U_p)}{\partial x} = q_p \quad (8-30)$$

のように、第一段のレベルの濃度に関する式と同じ形式で、収支式が成立することはほとんどありえない。2での収支式や代謝式に関する論述において、 C を対象物質、対象指標としているが、厳密には C が第一段のレベルの濃度をあらわしていることが第2章の収支式、代謝式の表現にとって必要である。

次に、物的要素の流動概念について、具体例を交えながら論及することとする。上に述べたように、濃度 C を対象物質の濃度だけではなく、対象物質に含まれる任意の指標値をも含むように拡張する場合には、補正を加えることによってほぼ同様の取扱いが可能であるとしても、さらに相当の困難がある。しかも、目を転じると、物質流動に関する静止と流動という二元的な要素の表現からすれば、かならずしも微分方程式（すなわち、微小空間でのつりあい）にこだわる必要はない。そこで、物的要素の流動概念の検討に際しては、これまでの微分方程式による表現の内容を継承しつつ、環境計画や都市計画として取扱うのに容易なように巨視的な表現形式をとることとする。

物的要素の流動概念に対する基本式としては、

$$(\text{単位時間あたりの貯留増加量}) + (\text{単位時間あたりの実質流出量}) = (\text{内部の潜在的新規発生量}) \quad (8-31)$$

$$\frac{dR}{dt} + (I - O) = \rho \quad (8-32)$$

のような形の収支式が考えられる。式(8-31)はともかく、式(8-32)の各項の具体的な内容は意識的に固定しないが、概念的には、式(8-32)の左辺第一項が貯留項、第二項が輸送項であり、右辺は輸送項とは異なった意味（横からの流出入量の場合は異なった方向、質的な転出入量の場合は質的変

* 速度の重ね合わせが可能であるとして展開していることから、当然、ふたつの物質に関する空間軸（ここでは x 軸）が一致するとして取扱っていることになる。しかし、ふたつの物質の異なる運動方向が一致することはかなり特殊な場合であるので、補正項も一般的に適用するとはいえない。特に廃棄物環境における物質（物的要素）の流動のうちには、他の物質の動きに逆襲しつつ、独自の動きを示すものがあり、この点から上述の問題は無視できない重要性をもつ。この後の問題は、相対性原理のもとで厳密な整理によって整理することが可能であろう。

化)をもつ添加項である。環境計画や都市計画においては空間密度が重要な因子となるので、空間 V での単位空間あたりの貯留量を c として、式(8-32)は次のようにも表現することもできる。

$$V \cdot \frac{dc}{dt} + (I - O) = \varphi \quad (8-33)$$

式(8-31), (8-32) を用いて検討することのできる物的要素の例を表8-2にあげる。表の空白の欄は適切な語彙がみあたらないために、とくに記入しなかったものである。

表 8-2 物的要素の例と収支式の各項目の意味

	φ	R	$\frac{dR}{dt}$	$(I-O)$	I	O	備考
生産在庫管理	在庫中破壊量	在庫量	在庫増加量		生産量	製品出荷量	
住宅供給計画	除却住宅量	既存住宅量	住宅増加量		建設住宅量	災害住宅量	
降雨流出調節	(降雨量 - 損失量)	河川・貯水池 などの貯留量	貯留増加量		流入量	流出量	
人口流動	(自然増加数 - 社会増加数)	全人口	全人口増加数	(自然増加数 - 社会増加数)	(出生数 - 転入数)	(死亡数 - 転出数)	
交通量管理	(交通発生量 - 駐車台数)	車台数	車台数増加数		流入台数	流出台数	
緑地配置計画	潜在要求量		地域内 要求潜在化量	地域外 要求顕在化量			
環境汚染管理	(新規発生量 - 分解量)	環境汚染保有量	汚染増加量		流入量	流出量	
潜在廃棄物計画	(供用開始量 - 顕在化量)	潜在廃棄物保有量	潜在増加量	実質流入増加量	流入量	流出量	

注) R が物的要素の量と意味する場合は、各項目も単位時間あたりの量であらねばならない。

すでに、潜在廃棄物環境における場所的流動と質的代謝を同時に組み入れた評価式への拡張をおこなったが、その過程で注目した概念図(図8-1)あるいは代謝軸方向の流れを示した図2-3を式(8-32)に対応して書きあらためると、図8-2のパターンIのようになる。物的要素の流動概念は、多くは2軸あるいは2次元的な流れ*によって構成されているとみる方が妥当であり、表8-2の φ の欄が2つの項の差として表現されているのは、図の $(I'-O')$ を φ として一括したためである。このように、対象とする物的要素、あるいは

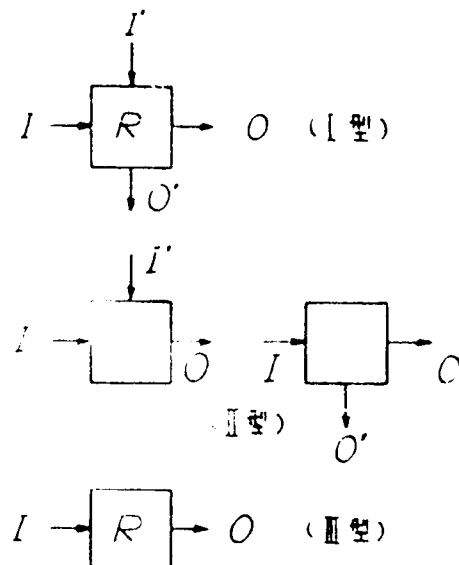


図8-2 物的要素の流動パターン

* ここでいう2軸あるいは2次元的とは実空間の2次元という意味ではない。場所的変化と質的変化というように性格の異なる運動形態を意味する。

計画分野によって流動概念の構成が異なることは留意しておく必要があるが、その基本的パターンとしては図 8-2 に示すものが考えられるであろう。

都市計画上においても、諸量の間の収支をとることは広汎になされているが、収支式が計画原理として正しく位置づけられていたかという点では疑問があり、むしろ、三項のうちで既知の二項から未知の一項の値を算出するために算術式として用いられてきたという意味が強い。もちろん、計画化のある段階で収支式を用いて未知の項の値をもとめることもありうるが、単にそのような機能に終始するのではなく、初期には各項の比較をおこなうことや、収支式が成立するための時間的・空間的規模を検討することに用い、計画化の高度の段階では運動式、代謝式ならびに他の指標に関する保存式と連立させるところが、計画原理の基礎式としての機能と特徴づけている。

収支式がその機能を十分に発揮するためには、収支式と連立させるべき他の基礎式が必要であるが、限定された単純な自然現象を除くと、運動式、代謝式あるいは保存式を一般式として定式化することは困難である。表 8-2 に示した計画課題についても、収支式と連立させる式を導入した試みがおこなわれているが、一般化するためには式の構造の基本部分にはできるだけ簡単で、細部は補正項や補助パラメーターで表現するという方向が妥当なようである。下水道や河川での流出に関して用いられている貯留関数法は、流出量を貯留量と流入量の一次結合として表現しており、2-2-3 で述べた研究方向と類似しているところから、とくに重要な意味をもつ。また、五十嵐は交通量エネルギーを想定し、その保存則と交通量の収支式を用いることによって道路の除雪効果を論じており、⁽⁴⁹⁾それは新たに保存式を組み入れた貴重な例であるといえる。すでに紹介したように、末石は人口流動を指標として都市の蓄積容量を論じている⁽⁵⁰⁾が、いくつかの都市での値から蓄積曲線を一般化する過程で、ある意味では連立すべき運動式を間接的に組み入れているとも解することができる。これに対して、通常の生産在庫管理や住宅供給計画には式(8-32)の q の項を無視して、図 8-2 の I 型の流動パターンを基礎にして計画がおこなわれてきた傾向が強いが、これらの事情は二つの分野の特殊なものではなく、逆にこの概念が他の流動を取扱う分野においても一般的であったとさえいえる。

さて、緑地配置については、緑地そのものは場所的に移動しないにもかかわらず流動概念が設定されるという点で、また、環境汚泥管理については、汚泥が相対的に速度の大きい水と共存しているという点で、重要な意味をもつ計画課題となっている。そこで、この二つについてより詳しく述べ、流動概念の展開と拡張をおこなうこととする。

緑と人間との関係にはいくつかの面があるが、自然環境の豊かさが失われつつある現今では、緑色植物のきわめて根源的な機能である炭酸同化作用が環境を清浄化する作用として注目され、一方では自然環境の代表としての緑に接すること自身がきわめて重要な意味をもつものとして考えられている。炭酸ガスのバランスに対する炭酸同化作用の寄与は、都市大気の温度上昇の軽減や騒音の

防止などの比較的物理的な面での緑の評価を代表しているものと考えられ、一方、緑に人間が接触することによる効果（Green Contact とよぶ）は、人間行動の側からみた評価と代表するものとしてとらえている。この二つの視点に対して、流動概念を用いて計画原理を組み立てることができる。

炭酸ガスの収支という点では即物的に、 q を人間活動にともなう発生炭酸ガス量、 I 、 O は屋などによる炭酸ガスの移入量、移出量を、さらに dR/dt は緑色植物によって固定される速度 (mass velocity) を意味すると考えることができる*。一方、Green Contact を指標とする収支式では、 q を地域内部の潜在的 Green Contact 要求量とし、 I 、 O は地域内部の潜在的要求量のうちで外部で満足されるもの、外部の潜在的要求量のうちで内部で満足されるものを意味する。 dR/dt は内部の潜在的要求量のうちの内部での充足量であるが、それを積分した R は地域内部での充足量の累積値である。「緑を指標とした環境計画に関する二、三の考察⁴⁰⁾」では、一般的な代謝式、運動式に相当するものは提案せず、 q を dR/dt と $(I-O)$ の二つの項に配分する際に地域的広がり（式 (8-33) の V の大きさに相当する。）による効果に注目して計画をおこなっている。緑を指標とした環境計画の場合には、運動式に相当する式はかならずしも演繹的に導かれるのではなくて、目的を満了す手続きとして提案されるという性格が顕著である。

環境汚泥については、それが水と共存する部分で直接的な流動が生じており、徹底的には図 8-3 の左図のような流動のとりえ方がなされるが、他方、環境汚泥の由来からその安定化にいたる長期の時間スケールでみるときは、たとえば右図のような流動概念が設定されよう。しかも、物質循環を長期にわたって正常な関係に保つためには、短期的負荷とあわせて緩速度の変化による蓄積にも注意する必要があるところから、緩速度の（それゆえ、ある意味では潜在的な）流動概念にもとづいた計画化を進めることは重要な課題であるといえる。

しかし、環境汚泥については、媒体である水中での反応過程で炭酸ガスなどの物質が放出されるという点からも、包括的認識のためには相当細かい研究が進展することが必要である。ここでは、相対的におくれている環境汚泥の現存量 R の定量化が、環境計画の立場から最も急務である⁴⁶⁾ことを強調するにとどめる。

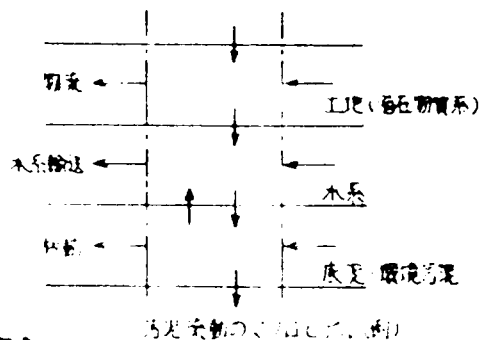
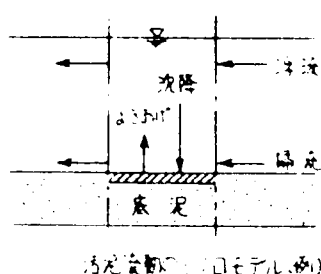


図 8-3 汚泥流動の概念

* 物理的な過程による移出入よりもマクロなレベルで考えている。

8-3 流動概念の関連モデルに関する比較検討

8-3-1 Garin and Lowry Model とその発展型の検討

Lowry モデル⁴⁵⁾においては、都市空間の構造をアクティビティ(Activity) とストック(Stock) という二つの要素に分けるとともに、それぞれについて場なり空間の内部の要素と場なり空間の間の要素とに分解している。その相互関係は図 8-4 で示され、アクティビティが必要なストックを要求し、設置されたストックがアクティビティを規定する。場の内部のアクティビティ(With-in activities) は工業、商業、住居などの利用レベルを、場の間のアクティビティ (Between-place activities) は人間や資材、貨幣、エネルギー、情報などの流動レベルを意味する。他方、空間ストック(Adapted spaces) は場の内部のアクティビティを包含する容器であって工場や建物などのレベルを示し、チャンネルスペース(Channel space) は場の間のアクティビティの手段であり関連施設であって、道路交通網や鉄道がその例である。場の内部のアクティビティとして製造業ならびにサービス業の従業者ならびに居住者を採用すると、場の内部のアクティビティの関係は図 8-5 の左図のようにあらわされ、操作過程で通勤やサービスをうけるためのパーソントリップがフローとして生じるとともに、用途別の土地利用や建物量などが空間ストックとして、また、パーソントリップを保障する構造物として鉄道や道路などのレベルが決定される。Garin はパーソントリップの決定をひとつの重要な段階として、図 8-5 の右図のように操作の流れを示した。⁴⁶⁾

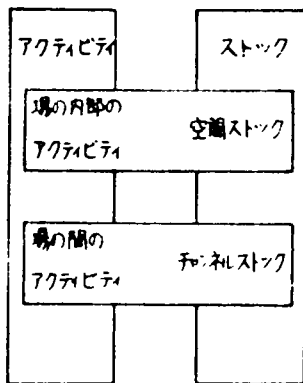
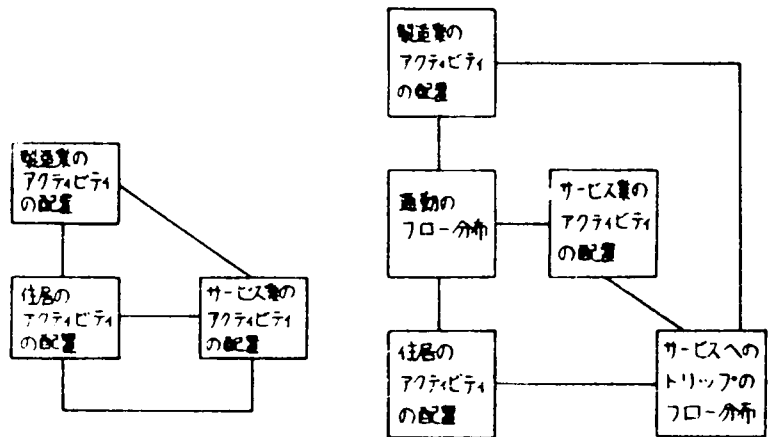


図 8-4
Lowry モデルの基本要素



Lowry モデルの構造 Garin-Lowryモデルの構造

図 8-5 Garin-Lowry モデルの構造

Lowry モデルにおいては、製造業の雇用で代表される基礎的な雇用の量と配置を入力データとして与え、グラビティモデルを用いて就業地の分布から住居を、また住居からサービス業の配置を決定している。Echenique は、対象区域のスケールが小さいと、とくに開発可能な土地や建物、道路などのフィジカルなインフラストラクチャ(Infrastructure)などが配置に影響を与えるので、そ

のような効果を導入する必要性を説いた。⁴⁴⁾ 彼が中心となって解析をおこなった Reading におけるモデルでは二つの特徴的な修正を加えている。ストックモデルには、都市の中心から遠ざかるにつれて建物床面積が指数関数的に減少することを組み込み、開発不可能な土地やオープンスペースなどには床面積を配分しないこととしている。アクティビティモデルは、Lowry モデルによって配置を決定する際に距離にもとづいたアクセシビリティだけではなく、利用可能な建物床面積や住居の数を考慮し、トリップの長さごとにトリップの割合を与えるという改良がなされている。Lowry モデルの改良は多くの研究者⁴⁵⁾によっておこなわれてきたが、ここでは典型例として Reading において用いられたモデルの構造を述べる。

入力データはおおのこのセル $C_{i,j}$ において建築が可能な土地の量、おおのこのセルから他のセルへのアクセシビリティ（道路と経由する距離であらわす）、おおのこのセルでの基礎的雇用量である*。さらに、通勤とサービスを受けるためのトリップの分布と、住居、基礎産業ならびにサービス産業に供用する床面積の三つの乗数と、基礎産業の雇用1人あたりの必要全床面積、就業率、住居によるサービス業の雇用発生割合という三つの係数を与える。基礎的雇用量からスタートして最終的にもとのサービス業の従業者、住民数、各用途別床面積の分布を、具体的な地域の実証データと照合することができれば、モデルの良否を判断することが可能であると Perraton⁴⁶⁾述べている。

- 1) 全雇用量 E_i を計算する。

$$E_i = E_i^b + E_i^s \quad (8-34)$$

ただし、 E_i^b は基礎的産業の雇用量 (basic employment)、 E_i^s はサービス業の雇用量 (service employment) を意味する。

- 2) 必要床面積 F_j の配置の決定

$$F_j = \sum_i \frac{E_i \cdot W \cdot L_j (e - \beta^f \cdot C_{i,j})}{\sum_j L_j (e - \beta^f \cdot C_{i,j})} \quad (8-35)$$

ただし、 W は従業員1人あたりの必要床面積で、 L_j はセル j において開発可能な土地面積と、 $C_{i,j}$ はセル i, j 間の移動コスト*を、パラメーター e, β^f によって () 内はアクセシビリティを意味したものである。

- 3) 居住用に供用する床面積 F_j^r の決定

$$F_j^r = F_j^r - (E_j^b \cdot W^b + E_j^s \cdot W^s) \quad (8-36)$$

ただし、 W^b, W^s は基礎的産業ならびにサービス業の従業員1人あたりの床面積を意味する。

- 4) 通勤のフローと従業員の居住地の決定

$$R_{i,j} = \frac{E_i \cdot F_j^r (e - \beta^r \cdot C_{i,j})}{\sum_j F_j^r (e - \beta^r \cdot C_{i,j})} \quad (8-37)$$

ただし、 $R_{i,j}$ は職場より j への通勤にともなうパーソン・トリップを示し、() 内はアクセシビリティを意味することは式(8-35)と同様である。

- 5) 居住住民数 P_j の決定

$$P_j = U \cdot \sum_i R_{i,j} \quad (8-38)$$

- 6) サービスを受けるための居住地よりサービス業立地へのトリップ $S_{i,j}$ の決定

$$S_{i,j} = \frac{P_i \cdot G_j^a (e - \beta^s \cdot C_{i,j})}{\sum_j G_j^a (e - \beta^s \cdot C_{i,j})} \quad (8-39)$$

* 居住に必要な各種サービスを受ける産業と全産業から引いた残りの産業を基礎的産業としていると考えられるが、このモデルの成立背景からみると、この産業の立地が直接に通勤者のフローと従業員の居住地を決定するような産業が基礎的産業にあたる。

ただし、 G_j は全用途の床面積 F_j と全雇用者数 E_j を加えてサービス業の平均床面積 V^s で割った商であり、サービス業の集中度を示す変数 α を添えた G_j^s は集中度とよばれる。

7) サービス業雇用量 E_j^s の配置の決定。

ただし、 V は人口に対するサービス業従業者数の比の値を意味する。

8) サービス業雇用量を用いて全雇用量を算定して、以上の操作をくりがえし、サービス業雇用量、位尺数、用途別床面積の値が平衡に達するまで操作をおこなう。

さて、潜在廃棄物環境を Garin-Lowry モデルに則して表現すると、4つの要素として図 8-6 のようなサブエレメントを考えることができる。Garin-Lowry モデルは、Wilson によれば、前提条件として就業地の分布、あるいは住居の立地と与えるか否かでわけたときの四つの型のうち、就業地立地の優先型に分類される。⁽⁴⁴⁾ 図 8-6 に示した都市構造においては、要素間の関係は一時的ではなくて相互に影響しあうと考えられるために、何を基本的条件とし、あるいは前提条件とするかの判断はかならずしも一意的ではないことに起因している。潜在廃棄物環境の構造においても同様のことがみられるが、ここでは次の理由から家庭における私的消費量を前提条件としておく。通常は生産にかかわる要素にあわせて消費にかかわる要素の諸値を定めてきたが、環境条件や土地の制約が存在することが現実に認識されている現在においては開鎖系として制御される必要があるので、政策的に制御可能な生産系を従属変数としてとりあつかうのである。廃棄物環境の配置のためのフローダイヤグラムを図 8-7 に示すが、骨格としては私的消費量が第二次産業の物質現存量、生産量を定め、第三次産業の物質現存量、公的消費量を定め、その過程で発生する廃棄物がその処理施設の立地を要求している。

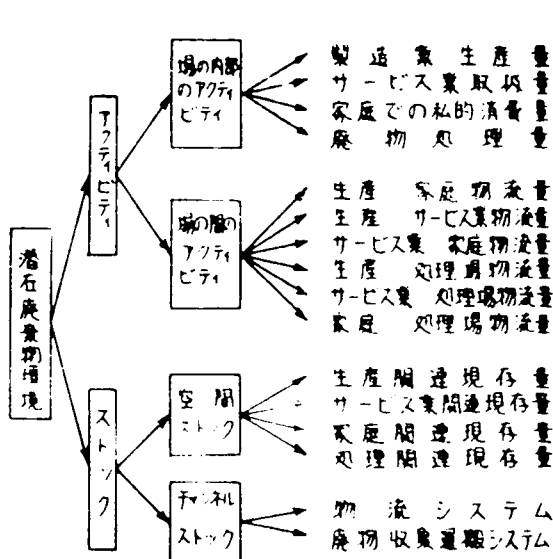


図 8-6 Garin-Lowry モデルからみた潜在廃棄物環境の要素 (例)

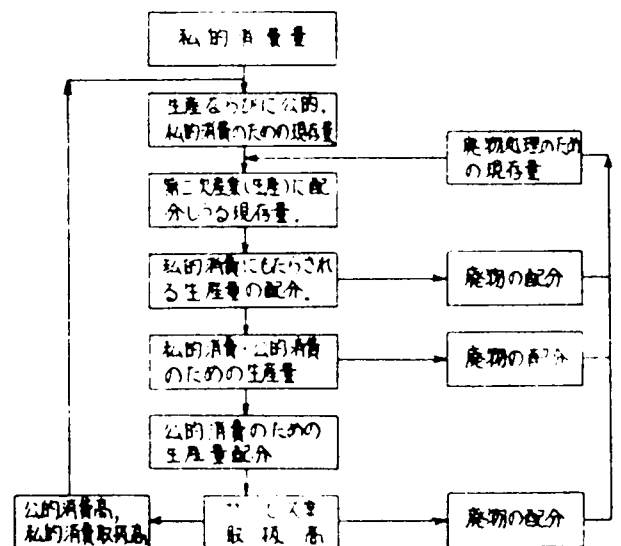


図 8-7 潜在廃棄物環境の配置のためのフローダイヤグラム (例)

8-3-2 Forresterのシステムズ・ダイナミクスとその発展型の検討

Forresterのシステムズ・ダイナミクス²¹⁾ (以下ではForresterモデルと呼ぶ。)においては、システムの要素をレベル変数とレート変数に分割し、それらの要素間の物、人、情報の伝達を非線型を含む関数関係で記述し、全体として多重フィードバックによるシステム出力の挙動を検討している。その構造の基本単位は図8-8で示され、ストックを示すレベル変数の値によって補助レート変数や定数変数を経由して主たるレート変数の値が定まり、それらのレート変数群の値によってフローを示すレベル変数の値が決定されている。初期条件を与えるとともに、時の経過にともないいくつかのレート変数のとるべき値をア prioriに定めておき、2つ以上の変数からの情報はすべて積のかたちで評価してレベル変数の値の時系列的変化を求めている。

Forresterは当初はインダストリアル・ダイナミクス¹⁹⁾と称して工場の生産、在庫を需要にあわせて適正に管理する手法として用いていたが、都市の住宅政策を対象としてアーバン・ダイナミクスを展開し、システムが複雑なために直観によって把握が困難な特性を見いだすことができたとしている。システムズ・ダイナミクスは一般的なシミュレーション手法としての性格が強く、対象としたシステムの固有の特殊性はフィードバックならびにフィードフォワードの回路の具体的な設定のしかた、レート変数がもつ非線型関数の設定のしかたに反映される構造である²⁰⁾。手法としての汎用性は高いといえる。さらにこのモデルを有名にしたのは、ローマクラブによってプロジェクトされた世界的規模の環境のダイナミック・シミュレーション¹⁵⁰⁾であり、経済成長ならびに人口には限界があることを印象づけている。

都市計画の分野への適用はもちろんのこと、最近では環境問題を対象としたアプローチもみられ、たとえば、宮川ら⁹⁷⁾は東京都下で発生する固体廃棄物に対して必要な処理・処分場の施設規模を中心にシミュレーションをおこなっている。このようなシステムズ・シミュレーションには環境のように複雑な対象を数量化する場合の疑問点や矛盾が集中的にあらわれてくることを否定できないが、この点については別途かれることとして、システムズ・ダイナミクスにみられる流れモデルとしての特性に関して述べることにする。

降雨後の水の流出機構について、菅原はタンクモデルを提案して創造的な研究をおこなってきた¹²⁾。タンクの流出入量を調節するバルブの操作に水位が関係する流出入モデルを想定すれば、その発展上にForresterのシステムズ・ダイナミクスがあり、複雑な回路構成と動的操作にともなう操り

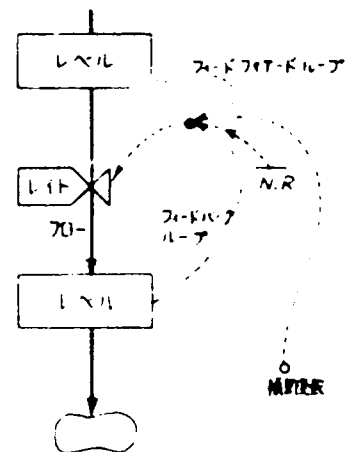


図8-8 Forresterモデルの基本単位

返し計算を電子計算機が担当していることが理解されよう。シミュレーションのもっとも大きい特徴は、レイト変数とレイト変数の間の関数関係表の数値や初期条件値、定数値を任意に変化させてシステムの挙動を観察する点であり、人為的な要素を計画因子として取扱うことによって種々の異なった政策の効果をみることができる。逆にいえば、対象としている環境の構造をどのような数値の組として表現するかということについては一般的な規則がみられず、直観的に概数を与えることによってレイト変数とレイト変数との間を接続する傾向がある。

LOWRY モデルのように地域的なフローなどを一定の基本的関数で表示することはおこなっていないので、潜在廃棄物環境を対象とする場合のモデル構成の手がかりを与えはしない。さらに、ダイナミック・シミュレーションを用いた研究例の多くは、地域的な拡がりのなかで流動をとらえる点では不十分で、異種の要素の時間的な変化に重点をおいてきたことは否めない。その点からは、潜在廃棄物環境の質的代謝の面についての本手法の適用が妥当であろうと考える。

5-4-2では非定常性指数 U_5 を用いて耐久消費材の廃用量の予測をおこなったが、ここでシステムズ・ダイナミックスの特徴をあきらかにするために、家庭廃棄物の代謝に対するシミュレーションモデルを組み立てることとする。システムズ・ダイナミックスの長所を十分に発揮するには、対象のなかにフィードバックならびにフィードフォワードの多重ループが見いだされる必要がある。しかし、環境の悪化が汚染物質を減少させるように働くとはいえないように、環境問題に関しては現状のままではフィードバックがあるとは考えられない。

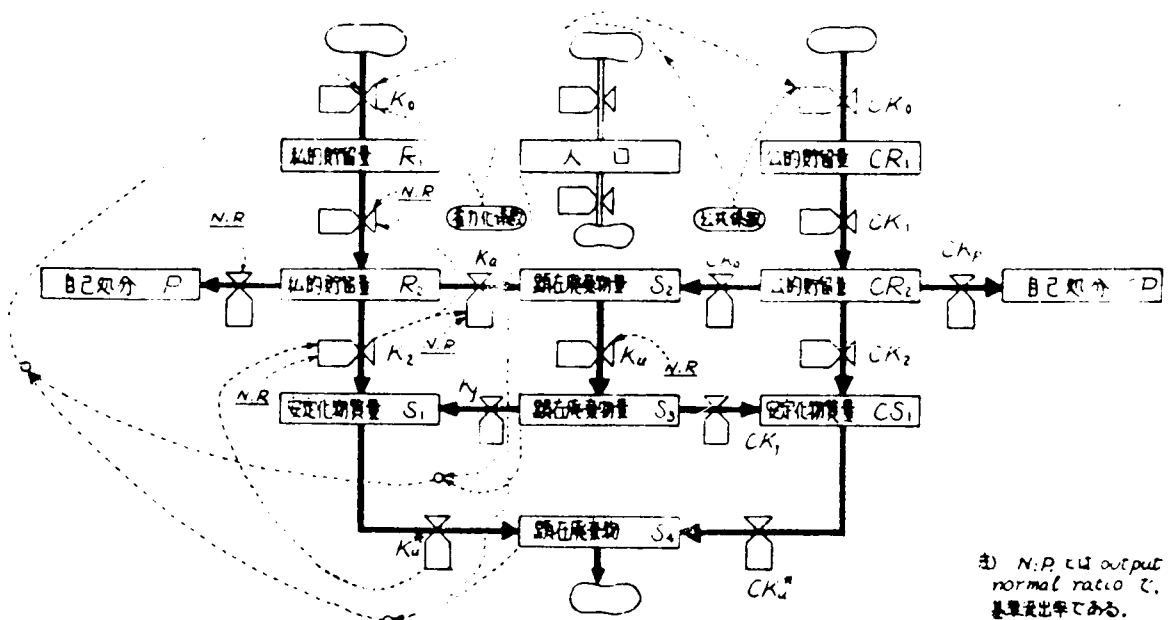


図 8-9 家庭廃棄物の代謝に関するシステムズダイナミックス型表現の例

上のレベル変数を選び、図8-9のようなシステムを作成した。ここに、——はものの流れを、

====は人の流れを、——は情報の流れを意味し、☁はシステムの外部であることを示す。
図8-9のあらわしている内容は、家庭内の私的消費材と家庭外の共同消費材についての貯留量 R_1 （効用空間占有量）と貯留量 R_2 （無効用空間占有量）が省力化指数や公共指数*によりどのように変化するか、また、自己処分量や収集による公的処分量と不法投棄などによる環境劣化型の顕在量とはどのような関係にあるのかといったことに集約されるであろう。収集量の増加が貯留量 R_1 からの離脱量の増加をまねくが、第一次安定化量の反応変化分の一部が廃棄物として顕在化する場合には消費量を減ずるように働いており、この部分にメインのフィードバック回路がある。現実の状態ではかならずしもこのことはいえないが、フィードバックを生じさせる政策の有効性について考察していると考えればよいだろう。処理処分の過程では、第二段階の顕在廃棄物を生みだすと考え、その量 S_4 もまた貯留量 R_1 に対して負の効果を与えるものとしている。このプロセスは何段にも分割して、顕在廃棄物に質的な差異を想定することも可能である。

* 省力化指数とは、省力化するほど多種多様の消費材が生活に必要となってくることから、生活における省力化の程度をあらわすものとして、公共指数は消費材にしのめる公共所有（たとえば地蔵庵や公共浴場）の割合を意味し、いずれも偏激的なパラメーターである。

8-3-3 広義の流動概念からみた各手法の比較

8-2において、潜在廃棄物環境の画化の過程で重要な役割をはたす広義の流動概念についての検討をおこない、前項ではそれと関連の深い二つのモデルについて例をまじえて検討を進めてきたので、ここではそれらを相互に比較することとする。比較の基本的な視点は、物質の質の変化とともないながらの空間的移動のどの面をいかに表現しているのかというところにおくこととする。

Lowry モデルにおいては、空間的な物のストックとフローが空間ストックと場の間のアクティビティに対応して組み込まれており、それらの関係が二次元地域上で定義されている。通常は、フローとストックは静的に決定されており、ストックの陳腐化の効果は考慮されていない。すなわち、物のストックとフローとの関係を地域的広がりの中で、与えられた時期ごとに静的に把握しており、動的シミュレーションや質的な変化に対しては若干不利な構造を有している。

逆に Forrester モデルでは、物のストックとフローは単純なバルブつきタンクモデルで表現されており、それらの関係は現状の分析と予測によって数値表として得られている。このモデルの流入・貯留・流出の関係は、物質の質的代謝の一段階を表現しうるので、質的变化を動的にシミュレートする点では優れているが、実空間の流動を取扱うにはかなりの工夫を必要とする。

6-3で検討を加えた Leontief モデルでは、いくつかのストックの間の連関を一次関係式で示しており、ストック間の連関表ともフローの連関表ともいえるが、投入産出表はストック間の物のフローを表現しているわけではない。都市なり地域をひとつの black box とみ立てて、多種の生産工程での生産量が他の生産工程におよぼす効果を線型結合として表示していると理解することができる。Leontief モデルではそれぞれの生産業種が相互に関係をもち、その効果が再循環する点に特徴があり、一般的なフードバック回路付きのインプット・アウトプット合計として、かなり広汎に用いられる基礎がある。

これらに対して、潜在廃棄物環境モデルは潜在廃棄物の顕在化過程を流動概念を用いて表現したものである。静止と流動という二つの基本要素の設定は、Lowry モデルのストック、フローと共通しており、Lowry モデルでよく用いられるグラビティ モデルが、廃棄物の流動概念における運動式に対応しているであろう。Forrester モデルでのレート変数とレベル変数の設定にも、二元的な基本要素の概念がみられる。シミュレーションの際の操作では、Forrester モデルよりも廃棄物環境の流動モデルの方が相対的に固定的であるが、それだけ対象の構造自身を解明する上では有利である。潜在廃棄物環境の流動モデルでは、代謝軸方向の変化については単一フローモデルと重合体モデルを提示しているが、複数の代謝単位から複数の単位への転換を取扱う必要がある場合には、5-5-3、6-3で示した投入産出型モデルが有用である。このため、広義の流動モデルには投入産出型連関モデルの一部が取り入れられる必要があると考えられる。

潜在廃棄物環境の流動モデルをより包括的に拡張してゆく上に、これらの三つのモデル (Lowry

モデル、Forrester モデル、Leontiefモデル)の概念、構造を消化して、一部を取り入れること*によってモデル自身を豊富化してゆくことが大切である。このことは単に手法的にアナロジーすることの意味しているのではなく、計画化の過程で目的、評価、手段などの内的関連をいかに表現するのかという点から、比較検討されるべきである。

この場合、ある意味で各々のモデルが中核に位置していることは事実としても、これを支え、具体的な意味を与えている調査活動にも正当な評価を与える必要がある。Lowry モデルではアクセシビリティの再評価のための調査が必要であろうし、Forrester モデルでも変数(レート変数、レベル変数)間の関係を同定する調査が、さらにLeontiefモデルでも表現した各項の値を知るためだけでもばう大な調査が必要である。潜在廃棄物環境モデルでは調査と計画との関連はより密接であって、モデル自身の改善、拡張には環境調査によって有意義な結果が得られることが条件として必須である。

いうまでもなく、潜在廃棄物環境モデルは以上の三つのモデルだけではなく、他のいくつかのものと概念、手法、対象が共通する。その例の一端はすでに各章の関連する部分で紹介しているので再び取り上げないが、一般的には、手法のアナロジーで接近する場合には対象が環境であること自身がもっとも大きな障害であるようである。それゆえ、環境自身の構造の内から、環境調査法や環境モデルを構築してゆくことが大切であろう。最後に各モデルの特徴を表にまとめ、都市計画において用いられている動的モデルをもあわせて記しておく。

表 8-3 各モデルの比較

	適用地	空間の取扱手法	取捨判断	対象活動	数式的表現	手法	備考
Lowry	応用的 (Reading)	重力モデル	1 次おくれ 1 年間隔	製造業ならびにサービス業の従業員、人口	静的・単純型 微分方程式	シミュレーション	多くの改良
Forrester	理論的	非線形化	9 変数・ストック 1 年間隔	産業、雇用、世帯数	動的・非線型 微分方程式	シミュレーション	対象の拡大
Leontief	理論的かつ 応用的	非線形化	1 次おくれ 1 年間隔	産業活動	行列・線型 (並立関係形式)	理論的、 シミュレーション	動的化(数値法)
TOM I, II (Crecine)	応用的 (Pittsburgh)	重力モデル・ ポテンシャルモデル	1 次おくれ 2~5 年間隔	製造業ならびにサービス業の従業員、人口	静的・線型・ 微分方程式	シミュレーション	
North Carolina Model	応用的 (Greenboro NC)	線型・回帰分析	1 次おくれ 10 年間隔	居住世帯数	静的・線型・ 微分方程式	理論的、 シミュレーション	(Chapin et al)
EMPIRIC	応用的 (Boston Region)	シミュレーション・ 線型・回帰分析	1 次おくれ 10 年間隔	フル・ワーク 部門間での従業員 移動を含む人口	動的・線型・ 微分方程式	計量経済的、 理論的	(Hill et al)
Activities Allocation Model	応用的 (Penn Jersey)	くりかえし法・ 非線型・回帰分析	1 次おくれ 5 年間隔	収入階層別人口	静的・非線型・ 微分方程式	理論的、 シミュレーション	(Seidman)
Macro economic	理論的	非線形化	1~4 次おくれ 1 年間隔	製造業ならびにサービス業の従業員、人口	静的・非線型・ 微分方程式	古典的理論系	(Paelinck et al)
Economic Base	応用的 (Baltimore)	非線形化	2 次おくれ 1 年間隔	製造業ならびにサービス業の従業員、人口	静的・単純型・ 微分方程式	理論的、 シミュレーション	(Czarnanski)
Residential Demographic	理論的	既知: 相互影響 モデル	- 定せず - 定せず	性別、年齢別人口 なかに出生	静的・単純型・ 微分方程式	理論的、 シミュレーション	(Wilson)
流動モデル	理論的	運動方程式	- 定せず - 定せず	潜在廃棄物の 蓄積・変動・代謝	静的(線型)・ 微分(非線型)	理論的、 シミュレーション	

注) すでに検討を加えた4つのモデル以外は文献(134)をもとに作成

* そのまま全面的に取り入れることは、それぞれの単独モデルでも相当に複雑であることや計画の目的、対象が異なることから、かえって弊害をまねく。

第9章 結 論

9-1 本論文の結論

本論文で得られた結論は次のとおりである。

第2章においては、潜在廃棄物環境モデルを提示し、指標物質の物質収支式と物質代謝式（運動式）を基本式として導き、変形によって各種の応用をおこなった。この潜在廃棄物環境モデルは、数式をともなわない場合においても、あるいは取扱っている対象が異なっても基本的概念として最終章まで貫かれている。

環境に対する考え方を整理し、まず潜在廃棄物と完全廃棄物を定義した。潜在—顕在、静止—流動の二元的要素（すでに述べたように、対立しつつも相互に転換が可能である。）を環境計画の中心的要素として定着させるために不可欠な場として、廃棄物 体を設定した。この廃棄物 体の微小部分のつりあいから物質収支式を導き、積分することにより、いくつかの有用な変形式をもあわせて示した。このうち、一次元化した式(2-8)は地域の物質流動に対する一次元解析の基礎式として、マクロなインプット、アウトプットで示した式(2-5)、(2-6)は物質の蓄積の動向を把握する上での基礎式として、後章でそれぞれ具体的に適用された。

一方、断水路流れのアナロジーをもまじえて、一次反応型の代謝式（運動式）と従来の経験的な原単位方式との関係をあきらかにするとともに、現象としての廃棄物発生を都市代謝の結果としてみることによって、現存量や資材投入量と同じ領域で解析する方向を示した。潜在的価値が保存されるということ、あるいは、代謝による流出量が蓄積現存量の単位時間あたりの増加量と関係があるという点から、代謝式の基本構造を定式化した。異なった二つの方法によって導かれた基本代謝式の有用性は、部分的にはあるが第7章での廃棄物の配分において典型的に認められた。

ついで、環境の計画化の基礎ともいえるべき環境調査として、廃棄物断面流動調査、航空写真調査、質問紙調査を提示し、それらの役割と相互の関係をあきらかにした。三つの環境調査に共通するところの概念としては、かなり巨視的な手法を用いつつ、物質収支式や物質代謝式の各項の値をとめることに大きな意義があることが再確認された。調査と計画的考察が研究の各段階で効果をおよぼしあうべきであることを力説したが、そのうち、調査に計画的考察を組み入れる点については、第3章、第4章、第5章の三つの調査とその解析において結実したといえる。

第3章においては断面流動調査の意義をあきらかにし、その調査法をほぼ確立し、三つの特徴的な地域での調査、解析をおこなった。

まず、三つの地域での調査によって、おのおのの地域の完全廃棄物、潜在廃棄物のそれぞれの流動の実態が把握され、とくに阪神間地域においては鉄鋼、化学物質、土砂などのいくつかの種類ごとの流動特性があきらかにされた。さらに、流動物質中の廃棄物濃度 ρ を用いて潜在廃棄物環境の

傾向を論じ、とくに阪神間東部地区にみられた ρ の分布から環境の劣化を推定した。このことはスプロール現象の実態に関する通例的な認識と合致するものであった。

松原市域、阪神間地域での調査では、マクロな収支式(2-6)を用いて潜在廃棄物の蓄積について検討を加えたが、流出入量の差は1-10%と小さく、形式的蓄積量は流動量の絶対値と比較すると非常に小さかった。これらの実測をこまえて、3-3-2では開区域での物質流動・蓄積に關して重要と考えられるパラメーターを μ を設定した。 μ ならびにそれを構成する μ_i ($i=0,1,2$)は、質問紙調査での廃用率関数 $f(\tau)$ に關しても適用可能であることには注意する必要がある。これらのパラメーターは、供用期間のパターンにより地域レベルでの廃棄物発生量が異なることを定式化したものである。

つぎに、松原市域と富山平野部における調査では、断面流動調査の調査水準をあらわすパラメーター $A\mu$ 、地域内外の流出入量に対する蓄積増加量の比を意味するパラメーター α 、廃棄物発生量と地域での物質流動量との関係をあらわす照次元数 ε を定義するとともに、それらの値を算定した。さらにいくつかの地域で断面流動調査を実施することによって、都市の形態ごとにこれらのパラメーターの値をもとめることができれば、地域の物質流動についての基準もおのずから導きだされるであろう。

阪神間地域の断面流動調査の結果に対して、基本式に基づいていくつかの検討を加え、有意義な成果が得られた。まず、一次元化した物質収支式を差分表示することによって、潜在廃棄物の蓄積が進行しつつある地域を知る上で重要な速度 μ の値の動向を把握する予測方法を提示した。廃棄物断面流動調査をかなりの年数において複数回実施することはできなかったので、概略的な流動量のあてはめをせざるを得なかったが、速度 μ の予測の計算例を示すことにより、環境調査から潜在廃棄物環境の将来の動向を把握する計画的考察への結びつけが可能になった。

さらに、臨海部の帯状の地域を対象として一次元解析を実施し、横からの流出入が地形上ほとんど無視できるところでは、一次元解析がきわめて有用であることがあきらかにされた。一次元解析の結果から、東部地区では一次元解析の主軸に直交する方向に分布状の廃棄物の流出が生じていることが推論され、廃棄物濃度の分布から予想された東部地区への廃棄物の集中の実態がより明確にされた。分布状の廃棄物の流出をもとに、潜在廃棄物の現存密度の差によって廃棄物の流動が生じるとの仮説を立て、二次元解析を実施した。算出された数字そのものには重大な意味はないが、潜在廃棄物環境の拡散係数 D が膨張しつつある都市のスプロール速度と密接な関係があることを述べ、蓄積現存量の増加の二つの極端な場合ごとに D の値を推定した。

第4章においては、航空写真調査を中心として、潜在廃棄物の現存量に注目した環境調査の方法を示すとともに、現存量の把握を試みた。まず、かなりの分野で航空写真が用いられ、とくにリモートセンシングが盛んとなりつつある傾向にかんがみて、環境科学的応用面での従来の研究につい

てまとめた。これまで多く採用されてきた写真濃度分析装置によるグレースケール（写真濃度）を基準とした、地上の物体の確認法を発展させ、色度図上での色度座標や三刺激値をもういた判別法を示した。色度座標をもういて地上の物体や土地利用形態を判定する試みは、4-2-2 で述べたように欧米ではいくつか試みられているが、都市域での潜在廃棄物や土地利用形態の確認に用いた例はないようである。もちろん、従来の写真濃度は刺激値 Y として組み入れられており、より包括的な解析方法と考えられる。 $x-y$ 色度図上での地上の物体や土地利用形態の分布図を作成し、図上の位置から水質汚濁や固体廃棄物の投棄（土地汚染）のようすが判断できることを示し、写真の解析方法として有効であることを述べた。

写真からの光学的情報を解析するには、ある段階でデータ処理の自動化をおこなうことが是非とも必要であるが、本研究ではマイクロフォトメーターを用いて写真面を照射し、刺激純度の値の組から地上の物体と土地利用形態を判断する手続きをほぼ確立した。三刺激値、色度座標（ x, y ）、刺激純度に加えて、それらの連続データに関するコレログラムなどを合わせて用いる方法は、単独の手法よりもはるかに有効であることが観察された。しかし、主として機器上の問題（三つの刺激値が同時には得られない。）のために、（ x, y ）の値の組やコレログラムにはかなりの誤差が生じ、数値としては固定精度を明かにするまでにはいたらず、この点は今後の課題として残されている。

潜在廃棄物、完全廃棄物の現存の状態を把握する方法としては、狭域の範囲では実地調査にもとづくものが最も優れている。潜在廃棄物として占める位置の大きい建築物を調査して評価する際の基準を作成するとともに、ケーススタディをおこなって放置されている完全廃棄物の種類と量とを把握した。質問状調査によって得た耐久消費材の所有量に対して、これらの完全廃棄物の量はほぼ 7 % に相当し、建物資材量を潜在廃棄物量に加えて、静止物質中の廃棄物濃度（完全廃棄物現存量 / 全環境構成物質現存量）は 10^{-2} のオーダーの値であるとの知見を得た。

ついて、統計資料をもとに建築物の現存量と代謝特性について検討した。約 150 の街区ごとの建物床面積から、建築物として現存している木材、鉄鋼、コンクリート（壁土を含む）の量を算定したが、工業地域や商業地域では鉄鋼の量がかなり多いことをはじめとして、いくつかの地域的な差異がみいだされた。新興住宅団地における鉄鋼やコンクリートの現存密度の高いことは特徴的で、今後の両開発にともなって広い範囲でそれらの高い濃度が出現するものと推定された。

瞬間廃用率（瞬間減失率）と k 値を用い、用途別建築年代別構造別の建築延床面積の実際値を入力データとして、建築物の代謝を観察した。計算プログラムには、減失建築物を同じ構造、耐用年数の建物で補充するとの条件を与えたが、不燃化などの政策を組み入れてゆくことが可能であり、面的な老朽度の評価もおこなえることを述べた。古い年代に建築された住宅を中心とする木造家屋が初期のうちに減失され、2000 年に接近するころには、比較的新しいコンクリート構造物の一部も減失されるために、ガレキや鉄鋼の廃物化量が急増するなど、潜在廃棄物環境の推移の特徴が判明した。

第5章では、質問紙調査によって潜在廃棄物環境の代謝をあきらかにすることを試み、家庭内の耐久消費財を指標とした解析と産業過程で生みだされる物質の供用による蓄積ならびに代謝についての検討をおこない、それと平行して代謝の単一フローモデルや重合体モデルを組み立てた。まず、質問紙調査の方法について整理し、環境調査として実施する場合にもこれまでの社会調査としての研究の蓄積が有用であることを述べた。社会的な代謝過程を分類し、構築的代謝とエネルギー代謝との区別をはじめとする構造的な差異をあらかじめ把握しておくことが重要であると考えた。

第2章で一般式として提案した代謝式(運動式)の特殊な場合として、単一フローモデルと貯留と移動の連続的組みあわせからなる重合体モデルを定式化した。単一フローモデルはさきわめて単純であるが、代謝係数 K を導入することによって、アウトプットと構築的代謝の最も重要な因子である現存量 R との関係をあらわしている。他方、重合体モデルは指標物質の物質サイクルに沿った流れ、あるいは実空間でのフローとストックを交互にともなった流れに対して表現されており、単一フローモデルの内部を詳細に表現したものとも、あるいは単一フローモデルを結合したものとも解釈することができる。さらに、年齢別(供用開始後の経過時間別)の代謝係数 $k(t)$ を導入することによって、従来から研究されている出生死滅過程に共通している積分方程式系への展開の方向を示した。以上の理論的基礎をもとにして、5-4、5-5では家庭と製造業に対する質問紙調査の結果に関する考察を中心として検討を加えた。

家庭に対する質問紙調査では、廃棄物の排出の前段階にも無効用空間占有という形で貯留があらわれていることに注目し、耐久消費財の廃用までの効用空間占有と排出までの無効用空間占有について検討した。主な質問と解析項目は、(1)供用開始から廃用までの期間とそれによる消費財の類別化、(2)廃用の理由ならびに、その理由からみた消費速度の増大化の背景、(3)無効用空間占有の期間と、それと貯留ならびに排出の理由との関係、(4)独立の物置・倉庫の有無による無効用空間占有の期間の差異、(5)廃用から排出にいたる過程での消費財に対する意識の変化、であった。

調査は3回実施されたが、そのうちで第1回目の調査は予備的な性格をもち、その結果をもとに質問内容の修正、調査の実施法の改善などがおこなわれた。第2回目の調査では主として耐久消費財の耐用年数の減少に注目し、その代謝速度の増大を定量化することとを試みた。種類ごとに購入量、所有量(現存量)、廃用量を算定し、代謝係数 K_i が、たとえばテレビでは0.04(1960年)より1.3(1965年)、1.7(1969年)というように増大していることがあきらかにされた。耐久消費財の累積廃用率関数の形、なかんずく半量の財が廃用される時期を示す $T(50\%)$ の値が変化しており(たとえば冷蔵庫では12.5年(1965年)より9.1年(1965年)という傾向)、このことを組み入れた廃用量の予測が不可欠であることを述べた。5-3-2で一般的な単一フローモデルについて示した非定常性項数 U_i は耐久消費財の廃用過程の検討の際に導入されたものであり、パラメーター U_i を用いることにより、財の普及過程、財のライフサイクルを考慮した廃用量の推定が可能とな

った。

第3回目の調査では対象とする耐久消費材の種類を増加し、類別化をおこなうとともに、無効用空間占有について考察した。まず、供用開始から廃用までの期間からみると、大きく3つのグループに類別化され、それぞれについて代謝係数 K_1 や U_1 の値の範囲があきらかにされた。家電製品で構成される第2グループを中心として、副次的な理由によって廃用されるものが多く、中枢的機能が不良となったために廃用されたものは全品目の平均でわずかに30%弱にすぎないことがあきらかとなった。デザインや装飾的機能の更新にともなって廃用されたり、部品が簡単に手に入らないために部分的な故障によって廃用される傾向が強くみられたが、これは耐久消費材にかぎらず、家庭生活にともなう代謝にかなり一般的に共通しているものと推察された。

廃用されたものの貯留に対しては無効用占有空間からの離脱率を定義し、廃用係数と粗にして、効用空間と無効用空間とからなる二段階モデルを提示した。耐久消費材の種類別に無効用空間からの離脱率 K_2 の廃用後の経過時間にもなう変化を示し、無効用の状態での貯留からみて大きくは3つのタイプに分割されることを示した。主として排出後の処分方法によって無効用空間の占有期間は影響されることがあきらかとなり、耐久消費材は下取りに供される割合の高い品目、粗大ゴミ収集に供される割合の高い品目、再利用される割合の高い品目の三つに分離された。なお、無効用の状態での平均的占有期間は、独立の物置・倉庫がある場合には、無い場合に比して約3倍の値を示しており、空間容量の大きさが貯留期間に大きな影響を与えていることがあきらかにされた。

ついで、非定常性指数 U_2 をもちいて耐久消費材の廃用量の予測をおこない、消費材のライフサイクルを考慮して算定する事例を示した。所有率が80%未満の消費材では所有率を10%あげることによって、 U_2 が大きく変化して廃用量は現在の値の1.4～2.1倍となるなど、原単位法とは大きく異なる結果が得られた。そこで、非定常過程について一般化をおこなう。この際、正規分布型の瞬間廃用率関数と台形型の現存量の変化を与えて廃用の変化を追跡した。この結果から、平均廃用期間（耐用年数）が、現存量が一定（台形の平坦部）となるまでの期間に接近するにしたがい、代謝係数 K_1 の遅延現象が顕著となることがあきらかとなった。

一方、生産過程での物質代謝を代表して製造業の物質代謝ととりあげ、まず現在の特徴をまとめたのち、主要な資源の使用量の経年変化と一次加工製品の量ならびに産業廃棄物発生量を示して指標物質の選定の補助とした。このなかから、鉄鋼、木材、プラスチック、紙、セメントの5品目を選び、それらの生産にともなう物質サイクルの実態について述べた。とくに鉄鋼については、銑鉄の生産、粗鋼の生産、鉄鋼素材の生産、鉄鋼加工による製品の生産の4つの段階にわけて、鉄鋼のフローを詳しく示した。使途不明とされてきた分の鉄鋼について用途を推定し、用途ごとに耐用年数を与えて、廃用率関数と合算する具体例を示した。木材、プラスチック、紙、セメントの用途別に与えた耐用年数の値はかなり恣意的な値であるが、用途を十分に細かくすることによって、合成

した廃用率関数はアーラン分布などの特定の確率密度関数によって近似することも可能であるとの方向を得た。数理的に明解な確率密度関数として廃用率関数を決定する場合には、その分布を定める二、三のパラメーター（アーラン分布の場合には次数 s と平均値 $1/\lambda$ ）を推定することにより、経年別の供用量から廃用量、蓄積量がたやすく計算できる。

生産過程での原料投入、廃物発生との関係に対して、線型結合型の変換行列を作成することを試みた。これは、レオンチエフ型の投入産出分析のなかで、従来の産業業種間の循環構造に加え、廃物発生マトリックスを加えたことに相当するが、金額単位ではなくて物量ベースとしたことには大きな意義がある。例として、質問紙調査(IV)により得た原材料投入量、廃物発生量をもとに廃物発生マトリックスの値を算定したが、発生廃物量を物質サイクルに着目して関与している投入資材に振り分けることに対する一般的な規則を確立することが大きな課題であることがあきらかとなった。

三つの環境調査によって物質収支式の各項の値を得て、それをもとに潜在廃棄物環境を解析するアプローチを第6章で展開した。本論文の主たる研究の方向は第7章の廃棄物の配分法とそれに続く流動概念の拡張であるが、第6章の4つの点に関する考察は廃棄物の配分法と深い関係を持ち、配分法を高度化する上で重要であるとともに、潜在廃棄物環境の意義づけを異なった角度からおこなったともいえるであろう。

まず、6-2で述べた因子分析法では、廃物発生量を資材の投入量や道路上の輸送量と同じレベルのものとして、全変量を一度は同質のものとして取扱い、バリマックス法によって同じ性格をもついくつかのグループに分割した。府県レベルでの廃棄物発生や輸送、資材投入については、物質サイクルごとに特徴があらわれるよりも、ほとんどの材の輸送量、資材投入量が都市あるいは大消費地ともいべき性格をもつ合成因子によって説明されることがあきらかとなった。因子分析法は現象の構造が不明な場合に比較的外部から接近する手法であり、本論文の構成上は6-2に位置しているが、研究の順序としては環境調査とはほぼ同時に試みられたものであることを注意しておく。

6-3では投入産出型の環境モデルについての理論的検討をおこなった。すでに製造業に対する質問紙調査の結果から、原材料投入量と廃棄物発生量との関係を行列であらわしたが、さらに製品出荷量を組み入れた場合について資材・製品を生産財と消費財にわけて定式化し、従来の生産額あたりの廃棄物発生量原単位がきわめて部分的な表現であることをあきらかにした。提示した投入産出型環境モデルの最大の特徴は、生産財ならびに消費財のストック量を組み入れたことであり、廃棄物発生量の二つの面（投入量あるいは製品出荷額に比例する部分と設備・ストックに比例する部分）を同時に取扱っている点がきわめてユニークであると考えられる。流動概念にもとづく潜在廃棄物の流動モデルでは、複数の物質の反応（生産など）による質的な転換を十分にあらわすことには不利な構造であるので、投入産出型の環境モデルによって補佐することの意義は大きいであろう。

環境サイクルの推定や代謝概念による考察によって、廃棄物を再利用もしくは再循環することが

環境保全上においてもきわめて有力な方法であることは簡単に立証することができる。しかし、狭い見地からの再循環システムがかならずしも環境の保全に寄与するとはいえないので、再循環についての概念を整理して、当面は対立するであろう二つのタイプを明確にした。そのおのおのについて生産加工—供用—廃棄物処理—再利用のための処理—供用，という流れの各段階での加工ならびに処理の困難度を設定して，循環系の解析をおこなうことを試みた。まず，再循環システムの用途別の流れと転用の関係を行列表示によって定式化し，一つの方法として，困難度最小型の目的関数と制約条件式を作成してラグランジェ未定係数法により解く手続きを提示した。再循環システムの解析にあたっては，加工処理より再循環のための処理を通じてみられる物質の質的状態の差がきわめて大きな要因となっていることを述べたが，おのおのの物質の再循環の際に出現する特徴によって具体的な定式化は異なることをあらためて強調しておく。新規の供給量を増加させるか，それとも再循環によって需要を満たすのかという2変数の問題においても，困難度の関数形によって最適状態（困難度最少）が相当に異なることをあきらかにしたが，それは当初に定式化した循環システムの一部に相当するにすぎず，今後に多くの課題を残している。

一方，6-4で提示した蓄積・代謝・流動の関連に関する共軸図は，第3，4，5章で考察した内容ときわめて密接な関係をもち，蓄積，代謝，流動の最も基礎的な量的関係をそれぞれ第4，第3，第2象限に表現し，第1象限に道路面積と潜在廃棄物占有面積との関係を示すことによって，それぞれを同一次元で検討することを可能とした。第1象限では，道路面積 D と潜在廃棄物占有面積 W との和に上限値を与え，第4象限では占有面積 W に単位床面積あたりの潜在廃棄物量原単位を乗じることによって，潜在廃棄物現存量 R を算定することとした。さらに第3象限には，道路上の物質流動と潜在廃棄物現存量との関係を，代謝係数 K_s, H_s ，通過物量を補正するパラメーターである蓄積関与率 μ_1, μ_2 ，代謝軸方向の断面量 I_s, O_s を介して，定式化した。第2象限には，流動物質による街路空間の占有の度 ϕ_1, ϕ_2 を用いて，道路上の物質流動を表現し，第3章で検討を加えた流動物質中の廃棄物濃度のもつ意義をより明らかにすることができた。本論文の範囲では，定量的考察は一部に限定せざるを得なかったが，都市の代謝にもとづいた地域環境の計画化を進めていく上での基礎的なモデル設定の第一歩は完了したといえるであろう。

第7章は本論文の中枢ともいえる部分である。これまでの受動型の廃棄物処理にみられる廃棄物発生量や必要処理能力の考え方も包括し，計画的に潜在廃棄物環境の代謝・流動をとらえるための基本原理として物質収支式と物質代謝式（運動式）を連立させ，廃棄物の配分法を提示した。代謝式の係数である困難度 α, β を決定するプロセスとして，輸送と蓄積にかかわる8つの因子の組を選定し，その因子の値によって相対的評価係数を定め，ついでより α, β を算出する方式を示した。物質収支式と代謝式は，いずれも蓄積と流動，静と動という相対立し，かつ相互に転換される概念をもつ2つの項を左辺にもち，このような二つの式，式(7-5)と式(7-6)にもとづいた計

画原理によって廃棄物の配分をおこなった。

計画原理としての一般化、普遍化をはかるために、困難度 α, β の関係式をいくつか設定し、このうち $\alpha \cdot \beta = \pm 1$ が分配・分散とは逆の集中現象をも取扱いうる点で、困難度の定義からも特別の位置を占めていることをあきらかにした。さらに、二次元で収支式と運動式を連立することを検討し、微小部分での潜在的価値のつりあいから運動式に相当する式を導くことができるかどうかについて考察を加えた。この点については、8-2-1で示したように、二つの平面（ $x-y$ 平面、 $x-z$ 平面）の運動式を一式に含めて表現することによって連立解は求められない（式が1つ不足）という結論を得るとともに、微小部分のつりあい関係から同様の運動式を導くにはかなり制約のつよい条件式を満たす必要があることがあることがあきらかとなった。

7-3では廃棄物配分のケーススタディを富山平野部を対象としておこない、配分方法の有用性をあきらかにした。困難度 α, β を規定する相対的評価係数らを組の因子で表現し、〔廃棄物野積密度、流動物質中の廃棄物濃度〕、〔廃棄物発生密度、工場適地数の割合〕、〔森林面積率、輸送距離〕、〔不法投棄場数の割合、交通容量に対する混雑度〕のおおのこの組の配分結果を比較した。ケーススタディから得られた成果として、因子の組みあわせによって集中型と分散型の配分を選別しうることがあきらかになったが、最初の試みという性格から多くの課題を浮きぼりにさせた点により注目したい。その課題の一部については7-3-2ならびに7-4において検討したが、主たる課題を分類すると、i) 配分法の困難度相互の関係とそれらと相対的評価係数らとの関係に関する検討、ii) 配分の際の場の設定、iii) 配分の際の指標の選定、iv) 潜在廃棄物の顕在化に対応して、完全廃棄物の分解・安定化を同じレベルで組み入れること、v) 配分の背景であり、それを保証すべき環境容量の概念の明確化、などがあげられた。

vi) については、配分法に関する考察と平行して7-3-2で、配分法にみられる容量概念が分離型の単一モデルであることを述べるとともに、より高度で重層的な配分法を作成する上で不可欠な環境容量の概念について言及し、環境容量と表裏の関係にある配分法の構築として取り入れるべき方向を示唆した。

7-4では、まず配分の際にきわめて重要な要因である場の設定のうち、地域区分について検討し、グループ化された単位地区の指標値の分散が小さくなるように境界を設定する手続きを述べるとともに、緑地面積を指標とした区分の具体例を示した。さらに、区分・分類に共通してみられる基本的なルールを廃棄物配分法に則して述べた。地域区分と対照して、指標として採用すべき因子の選定法についても因子関連マトリックスを用いる論理的な手法を引用し、配分法を高度化してゆく上での留意すべき点をあきらかにした。

一方、容量概念に対応して、廃棄物の分解・安定化を二つの代謝係数によって表現し、配分計算の結果が次期の配分に影響を与えるような配分法への修正をおこなった。これは、隣接ブロックへ

全量輸送したときの廃棄物に固定せずに、ちょうど配分結果による輸送が配分計算に用いた廃棄物濃度を生じさせるようなシステムへの修正に加えて、蓄積の困難度を環境構成物質現存量の廃棄物濃度（静止量の廃棄物濃度）を指標として与えることによって、動的な構造をもつように修正を加えたものである。

このように二次元平面での配分をおこなった結果として、道路上での廃棄物流動という線的な問題が顕在化し、それは廃棄物処理場への廃物の流れに典型的にあらわれるので、次の二つの点について検討を加えた。ひとつは廃棄物輸送にともなう流動物質中の廃棄物濃度の変化であり、他のひとつは輸送道路の選定に関する線型計画法の適用である。水文流出を念頭におきつつ収集運搬を流出過程として取扱い、単位図法的な手法を提示して、収集開始時間や収集継続時間などをパラメータとする廃棄物濃度の変化を表現した。一定の廃棄物濃度の上限値を下回るように各区域ごとに収集開始時間、収集継続時間などを制御しうる点が有用であることをあきらかにした。

廃棄物輸送の経路や搬入先の選定を一般的な輸送問題のひとつとして共通的に取扱うこともできるが、それらの係数や変数の持つ意味を検討しておくことが重要であると考えてあえて詳しく述べ、係数行列にゼロあるいは 1 の多いことに注目して簡便な解き方を提示した。この種のアプローチは、前提条件の安定性を十分に高く保つことは困難であり、やはり、廃棄物の地域配分の結果を受けて実施されるべき比較的固定的な手段であるが、逆に線的な輸送問題の結果から地域配分の操作へのフィードバックも重要であると考ええる。

第 8 章では、本論文において定式化し、具体的に適用した流動概念をより広範囲の物的要素に対して拡張するとともに、すでに都市計画の分野で用いられている代表的なモデルとの比較をおこなった。

第 2 章で提示した物質収支式と運動方程式（潜在的価値の収支式）によって表現しうる流動は、第 3, 4, 5 章で取扱った潜在廃棄物にのみ存在しているのではなくて、一般の物的要素においても、静と動、貯留と流動という対立しつつも相互に転化する概念があり、それを計画の基本原理として位置づけることの必要性を説いた。計画対象ごとに物質収支式の各項の具体的内容を整理し（表 8-2）、流動概念を基本とする計画化が、従来の対象ごとの計画を横断面的に貫いている性格をもつことを示唆した。対象を拡大したことに関連して、二軸の流動を律する関係式を導出して流動量を算定する手続きを示すとともに、媒体と媒質との関係に注目して三つの濃度概念を整理した。

ついで、都市計画や社会現象の数理的アプローチにおいて用いられている代表的な手法として、Lowry Model と Forrester の systems dynamics をとりあげ、フローとストックがどのように取扱われているかを考察した。潜在廃棄物環境を対象として二つのモデルを適用する初歩的な試みを通して、二つのモデルと本論文で提示した流動概念にもとづく取扱いには共通点があることがあきらかとなった。

9-2 謝 辞

本論文は著者の京都大学大学院工学研究科博士課程における3年間の研究をとりまとめたものである。

博士課程在学中はもちろんのこと、学部特別研究以来6年間にわたり一貫して親切に指導をしていただいた末石教授に深く感謝する。潜在廃棄物環境の計画化に関する構想は、昭和43年末、末石教授によって与えられ、しかも育成されたものである。

研究の遂行にあたり、末石研究室の住友助教授、山田助孝（現在、立命館大学助教授）、和田助手には大きな御支援をいただいた。環境調査の実施の際の援助、研究に対する有意義な討議などに対して深く感謝する。また、山岸技官（現在、石川県職員）、久次技官には調査の実施に際して全面的に援助していただき感謝にたえない。

潜在廃棄物環境の計画化に関する研究は、末石研究室としてここ数年以上にわたって取り組まれてきたものである。とくに本論文に深く関連する分野を含めて、特別研究や修士論文の作成の段階で共に研究を進めてきた、近藤正文、沢井 徹、久保田好信、稲葉 力、高橋美行、岩淵勝紀の諸氏の援助に感謝する。

衛生工学教室の教職員の諸氏には、研究の討議、機器類の借用、文献の示唆などで大きな協力をいただいた。とくに、固体廃棄物の処理・処分に關しては岩井教授、高月助手（現在、助教授）をはじめとして岩井研究室の方々に、水質・底質分析に關しては合田研究室の方々にお世話になった。あわせて感謝の意を表する。

調査の実施に際して、自治体の関連部局の方々には便宜をはかっていただくなど、いろいろとお世話になった。さらに論文を作成する段階でも多くの方々の協力を得て感謝の意を表する。

なお、論文中の計算は、大部分は京都大学大型計算センター FACOM 230-60, 230-75 を使用し、一部は大阪大学大型計算センター NEAC MODEL 7000 を使用した。

PROGRAM 1

```

C      T,MORIOKA      , IDENTIFICATION OF POTENTIAL WASTE
COMMON K2(15),K2S,KWA(3000),KW(15,15,13)
DIMENSION KY(15,15,13),KZ(15,15,13),KX(15,15,13)
DIMENSION KYA(2000),KZA(2000),KX2(2000)
DIMENSION JUNDO(25,25),KOSYU(25,25)
SUBCHK(1) K2,KWA,KW
N=1580
NN=135
READ(5,110)((JUNDO(I,J),J=1,25),I=1,25)
READ(5,110)((KOSYU(I,J),J=1,25),I=1,25)
READ(5,101)(KYA(I),I=1,N)
READ(5,101)(KZA(I),I=1,N)
READ(5,101)(KX2(I),I=1,N)
J=0
DO 30 I=2,N-1
  IF(KYA(I)-99)32,31,31
31 IF(KYA(I-1)-99)34,33,33
33 GO TO 30
34 WRITE(6,201)J,K2(J)
  GO TO 30
32 IF(KYA(I-1)-99)36,35,35
35 J=J+1
  K2(J)=1
  GO TO 30
36 K2(J)=K2(J)+1
30 CONTINUE
  JHA=J
  WRITE(6,209) JHA
209 FORMAT(1H0,5H JHA=,15)
  K1=0
  DO 20 I=1,N
    IF(KYA(I).EQ.99) GO TO 21
    NN1=I-K1
    KYA(NN1)=KYA(I)
    GO TO 22
  21 K1=K1+1
  22 CONTINUE
    IF(I.EQ.N) GO TO 24
  20 CONTINUE
  24 K2S=0
    DO 83 J=1,JHA
      K2S=K2S+K2(J)
  83 CONTINUE
    WRITE(6,205) K2S
205 FORMAT(1H1,11HREAL DATA =,15,/////)
    DO 84 I=1,K2S
      KWA(I)=KYA(I)
  84 CONTINUE
    CALL HAIRE
    CALL CORRE
    DO 37 KK=1,12
    DO 38 II=1,15
    DO 39 JJ=1,15
      KY(II,JJ,KK)=KW(II,JJ,KK)
  39 CONTINUE
  38 CONTINUE
  37 CONTINUE
    K1=0
    DO 23 I=1,N
      IF(KZA(I).EQ.99) GO TO 25
      NN1=I-K1
      KZA(NN1)=KZA(I)
      GO TO 26
  25 K1=K1+1
  26 CONTINUE
    IF(I.EQ.N) GO TO 27
  23 CONTINUE
  27 DO 50 I=1,K2S
    KWA(I)=KZA(I)
  50 CONTINUE
    CALL HAIRE
    DO 51 KK=1,12
    DO 52 II=1,15
    DO 53 JJ=1,15
      KZ(II,JJ,KK)=KW(II,JJ,KK)

```

```

53 CONTINUE
52 CONTINUE
51 CONTINUE
57 K1=0
DO 58 I=1, N
IF(KX2(I).EQ.99) GO TO 59
NN1=I-K1
KX2(NN1)=IF(X(1.25*KX2(I))
GO TO 64
59 K1=K1+1
64 CONTINUE
IF(I.EQ.N) GO TO 65
58 CONTINUE
65 CONTINUE
CALL MAIRE
DO 67 KK=1,12
DO 68 JJ=1,15
DO 69 JJ=1,15
KX(JJ,KK)=KW(JJ,KK)
69 CONTINUE
68 CONTINUE
67 CONTINUE
DO 74 KK=1,12
J1=0
J2=0
J3=0
J4=0
J5=0
J6=0
J7=0
J8=0
J9=0
KL1=0
KL2=0
KL3=0
KL4=0
KL5=0
KL6=0
KL7=0
KL8=0
KL9=0
I=0
DO 90 JJ=1,15
DO 91 JJ=1,15
I=I+1
KSAM=KX(JJ,KK)+KY(JJ,KK)+KZ(JJ,KK)
KW(JJ,KK)=100*KY(JJ,KK)/KSAM
KZ(JJ,KK)=100*KZ(JJ,KK)/KSAM
KX(JJ,KK)=100*KX(JJ,KK)/KSAM
IX=KX(JJ,KK)
IY=KW(JJ,KK)
IF(IX-40)900,910,910
900 IF(15-IX)920,920,910
920 IF(IY-40)930,910,910
930 IF(15-IY)940,940,910
940 CONTINUE
KX(JJ,KK)=JUNDO(IX-15,IY-15)
KW(JJ,KK)=KOSYU(IX-15,IY-15)
GO TO 1100
910 KX(JJ,KK)=8
KW(JJ,KK)=8
1100 CONTINUE
IF(KX(JJ,KK).EQ.1) GO TO 401
IF(KX(JJ,KK).EQ.2) GO TO 402
IF(KX(JJ,KK).EQ.3) GO TO 403
IF(KX(JJ,KK).EQ.4) GO TO 404
IF(KX(JJ,KK).EQ.5) GO TO 405
IF(KX(JJ,KK).EQ.6) GO TO 406
IF(KX(JJ,KK).EQ.7) GO TO 407
IF(KX(JJ,KK).EQ.8) GO TO 408
IF(KX(JJ,KK).EQ.9) GO TO 409
401 J1=J1+1
GO TO 120
402 J2=J2+1
GO TO 120

```

```

403 J3=J3+1
    GO TO 120
404 J4=J4+1
    GO TO 120
405 J5=J5+1
    GO TO 120
406 J6=J6+1
    GO TO 120
407 J7=J7+1
    GO TO 120
408 J8=J8+1
    GO TO 120
409 J9=J9+1
120 CONTINUE
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.1) GO TO 501
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.2) GO TO 502
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.3) GO TO 503
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.4) GO TO 504
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.5) GO TO 505
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.6) GO TO 506
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.7) GO TO 507
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.8) GO TO 508
    IF(KW(II,JJ,KK),EQ.9) GO TO 509
501 KL1=KL1+1
    GO TO 1101
502 KL2=KL2+1
    GO TO 1101
503 KL3=KL3+1
    GO TO 1101
504 KL4=KL4+1
    GO TO 1101
505 KL5=KL5+1
    GO TO 1101
506 KL6=KL6+1
    GO TO 1101
507 KL7=KL7+1
    GO TO 1101
508 KL8=KL8+1
    GO TO 1101
509 KL9=KL9+1
1101 CONTINUE
    IF(KY(II,JJ,KK),LE.5) GO TO 601
    IF(KY(II,JJ,KK),LE.10) GO TO 602
    IF(KY(II,JJ,KK),LE.15) GO TO 603
    IF(KY(II,JJ,KK),LE.20) GO TO 604
    IF(KY(II,JJ,KK),LE.25) GO TO 605
    IF(KY(II,JJ,KK),LE.30) GO TO 606
    IF(KY(II,JJ,KK),LE.35) GO TO 607
    IF(KY(II,JJ,KK),LE.40) GO TO 608
    GO TO 609
601 KH1=KH1+1
    GO TO 1102
602 KH2=KH2+1
    GO TO 1102
603 KH3=KH3+1
    GO TO 1102
604 KH4=KH4+1
    GO TO 1102
605 KH5=KH5+1
    GO TO 1102
606 KH6=KH6+1
    GO TO 1102
607 KH7=KH7+1
    GO TO 1102
608 KH8=KH8+1
    GO TO 1102
609 KH9=KH9+1
1102 CONTINUE
    IF(I,EQ,NN) GO TO 1103
91 CONTINUE
90 CONTINUE
1103 WRITE(6,112)KK
112 FORMAT(//////,13HBLOCK NUMBER=,15)

```



```

35 KK=KK+1
   IGYO=0
   JGYO=0
   GO TO 30
33 RETURN
   END

```

```

SUBROUTINE CORRE
C=MON K2(15),K25,KWA(3000),KW(15,15,13)
NNN=45
NN=135
DO 20 KK=1,11
  I=0
DO 21 JJ=1,15
DO 22 JJ=1,15
  I=I+1
  KWA(I)=KW(I,JJ,KK)
  IF(I.EQ.NN) GO TO 30
22 CONTINUE
21 CONTINUE
30 CONTINUE
  2 DO 66 K=1,NNN
    X01=0.0
    J=NN-K
    DO 19 I=1,J
19  X01=X01+KWA(I)
    X011=X01/FLOAT(J)
    X02=0.0
    L=K+1
    DO 29 I=L,NN
29  X02=X02+KWA(I)
    X022=X02/FLOAT(J)
    S01=0.0
    DO 39 I=1,J
39  S01=S01+(KWA(I)-X011)**2
    S011=SQRT(S01/FLOAT(J))
    S02=0.0
    DO 49 I=L,NN
49  S02=S02+(KWA(I)-X022)**2
    S022=SQRT(S02/FLOAT(J))
    XYZ=0.0
    DO 59 I=1,J
59  XYZ=XYZ+KWA(I)*KWA(I+K)
    XYZ=XYZ/FLOAT(J)
    XYZ0=(XYZ-X011*X022)/(S011+S022)
    WRITE(6,224)K,XYZ0
224 FORMAT(10X,13.5X,F7.3)
66 CONTINUE
20 CONTINUE
RETURN
END

```

PROGRAM 2

```

DIMENSION BZ1(9),BZ2(9)
DIMENSION BZW(9),BZL(9),BZB(9),BZC(9),BW(9),LL(9),CC(9),JB(9),BZ(9)
1)
DIMENSION XXXA(7,6),XXXL(7,6),XXXB(7,6),XXXC(7,6)
DIMENSION SDC(9,6),SDU(9,6),SDE(9,6),SDF(9,6)
DIMENSION DTAU(9),C(15,4),U(15,4),E(15,4),F(15,4),DLAM(4,6)
DIMENSION AA(15),AL(15),AB(15),AC(15),UA(15),UD(15),UE(15),UF(15)
DIMENSION DTAU1(15,9),DTAU2(15,9),SDC(15),SDU(15),SDE(15),SDF(15)
DIMENSION SAA(15),SAL(15),SAB(15),SAC(15)
DIMENSION ALA(15,9),ALL(15,9),ALB(15,9),ALC(15,9)
INTEGER SS
REAL ITT
REAL LL
READ(5,101) (DTLAM(K,M),K=1,4),M=1,6)
READ(5,102) (DTAU(L),L=1,9)
READ(5,103) ((C(M,K),K=1,4), (D(M,K),K=1,4), (E(M,K),K=1,4), (F(M,K),
K=1,4)),M=1,6)
SPP=1.0
DO 711 ISF=1,4
SPP=SPP*ISF
711 CONTINUE
K=5
51 ISS=0
DO 21 L=1,9
DO 22 I=1,15
XLA(I,L)=0.0
XLL(I,L)=0.0
XLB(I,L)=0.0
XLC(I,L)=0.0
22 CONTINUE
21 CONTINUE
DO 710 L=1,9
BZ1(L)=0.0
BZ2(L)=0.0
BZL(L)=0.0
BZW(L)=0.0
BZB(L)=0.0
BZC(L)=0.0
AA(L)=0.0
LL(L)=0.0
BB(L)=0.0
CC(L)=0.0
710 CONTINUE
53 ISS=ISS+1
READ(5,106) (AA(J),AL(J),AB(J),AC(J)),J=1,7)
SDC=0.0
SDU=0.0
SDE=0.0
SDF=0.0
DO 14 J=1,7
XXXA(J,ISS)=XXXA(J,ISS)+AA(J)
UC(J)=C(ISS,1)*AA(J)
UD(J)=D(ISS,1)*AA(J)
UE(J)=E(ISS,1)*AA(J)
UF(J)=F(ISS,1)*AA(J)
XXXL(J,ISS)=XXXL(J,ISS)+AL(J)
UC(J)=UC(J)+C(ISS,2)*AL(J)
UD(J)=UD(J)+D(ISS,2)*AL(J)
UE(J)=UE(J)+E(ISS,2)*AL(J)
UF(J)=UF(J)+F(ISS,2)*AL(J)
XXXB(J,ISS)=XXXB(J,ISS)+AB(J)
UC(J)=UC(J)+C(ISS,3)*AB(J)
UD(J)=UD(J)+D(ISS,3)*AB(J)
UE(J)=UE(J)+E(ISS,3)*AB(J)
UF(J)=UF(J)+F(ISS,3)*AB(J)
XXXC(J,ISS)=XXXC(J,ISS)+AC(J)
UC(J)=UC(J)+C(ISS,4)*AC(J)
UD(J)=UD(J)+D(ISS,4)*AC(J)
UE(J)=UE(J)+E(ISS,4)*AC(J)
UF(J)=UF(J)+F(ISS,4)*AC(J)
SDC=SDC+UC(J)
SDU=SDU+UD(J)
SDE=SDE+UE(J)
SDF=SDF+UF(J)
14 CONTINUE

```

```

55 WRITE(6,201) ISS
WRITE(6,202)
WRITE(6,203) ((J,XA(J),XL(J),XB(J),XC(J)),J=1,7)
WRITE(6,204)
WRITE(6,205) ((J,SD(J),SDD(J),SDE(J),SDF(J)),J=1,7)
WRITE(6,206) SDC,SDD,SDE,SDF
DO 15 L=1,9
DTAU1(1,L)=65.0*DTAU(L)
DTAU2(1,L)=45.0*DTAU(L)
DTAU1(2,L)=45.0*DTAU(L)
DTAU2(2,L)=25.0*DTAU(L)
DTAU1(3,L)=25.0*DTAU(L)
DTAU2(3,L)=25.0*DTAU(L)
DTAU1(4,L)=20.0*DTAU(L)
DTAU2(4,L)=15.0*DTAU(L)
DTAU1(5,L)=10.0*DTAU(L)
DTAU2(5,L)=15.0*DTAU(L)
DTAU1(6,L)=10.0*DTAU(L)
DTAU2(6,L)= 5.0*DTAU(L)
DTAU1(7,L)= 5.0*DTAU(L)
DTAU2(7,L)= 0.0*DTAU(L)
DO 701 SS=2,4
DTAU1(7+SS-1,L)=0.0-5.0*(SS-2)*DTAU(L)
DTAU2(7+SS-1,L)=-5.0-5.0*(SS-2)*DTAU(L)
701 CONTINUE
15 CONTINUE
LSS=0
DO 16 L=1,9
LSS=LSS+1
SDJC(LSS,ISS)=0.0
SDDJ(LSS,ISS)=0.0
SDEJ(LSS,ISS)=0.0
SDFJ(LSS,ISS)=0.0
DO 17 J=1,7+LSS-1
DT1=DTAU1(J,L)
DT2=DTAU2(J,L)
IF(L.EQ.1) GO TO 43
DT3=(DTAU1(J,L)+DTAU2(J,L))/2.0
DT4=(DTAU1(J,L-1)+DTAU2(J,L-1))/2.0
43 SDJ(J)=0.0
SDDJ(J)=0.0
SDEJ(J)=0.0
SDFJ(J)=0.0
57 RA=1/DLAM(1,ISS)
IF(L.EQ.1) GO TO 61
IF(J.EQ.7+LSS-1) GO TO 59
ITT=(DT3/DT4)**(K-1)*EXP(-1.0*RA**((DT3-DT4)*Z(RA,DT4)/Z(RA,DT3))
IF(J.EQ.7+LSS-1) GO TO 61
XA(7+LSS-1)=XA(7,LSS-1)+XA(J)*(1-ITT)
XA(J)=XA(J)*ITT
61 IF(DT2.NE.0.0) GO TO 65
SXN(J)=XA(J)*Z(RA,DT1)/2.0
702 GO TO 66
65 SXN(J)=XA(J)*(Z(RA,DT1)+Z(RA,DT2))/2.0
66 SDC(J)=C(ISS,1)*SXN(J)
SDDJ(J)=D(ISS,1)*SXN(J)
SDEJ(J)=E(ISS,1)*SXN(J)
SDFJ(J)=F(ISS,1)*SXN(J)
59 RA=1/DLAM(2,ISS)
IF(L.EQ.1) GO TO 82
IF(J.EQ.7+LSS-1) GO TO 61
ITT=(DT3/DT4)**(K-1)*EXP(-1.0*RA**((DT3-DT4)*Z(RA,DT4)/Z(RA,DT3))
IF(J.EQ.7+LSS-1) GO TO 82
XL(7+LSS-1)=XL(7,LSS-1)+XL(J)*(1-ITT)
XL(J)=XL(J)*ITT
82 IF(DT2.NE.0.0) GO TO 67
SXL(J)=XL(J)*Z(RA,DT1)/2.0
IF(L.EQ.1) GO TO 703
XLTOT=XLTOT/(RA*5)**5/(2.5)**(5-1)*EXP(1.0*RA*5*2.5)*SPP*Z(RA,2.5)
1)
703 GO TO 68
67 SXL(J)=XL(J)*(Z(RA,DT1)+Z(RA,DT2))/2.0
68 SDC(J)=SDC(J)+C(ISS,2)*SXL(J)
SDDJ(J)=SDDJ(J)+D(ISS,2)*SXL(J)

```



```

SDE(J)=SDE(J)+E(ISS,2)*SXL(J)
SDF(J)=SDF(J)+F(ISS,2)*SAL(J)
61 RA=1/DLAM(3,ISS)
IF(L,LU,1) GO TO 63
IF(J,LU,7+LSS-1) GO TO 63
ITT=(1/DT4)*R(K-1)*EXP(-1.0*RA*RA*(DT3-DT4))*Z(TRA,DT4)/Z(TRA,DT3)
IF(J,LU,7+LSS-1) GO TO 63
XB(7+LSS-1)=XB(7+LSS-1)+AC(J)*(1-ITT)
XB(J)=XB(J)+ITT
63 IF(DT2,NE,0.0) GO TO 65
SXB(J)=XB(J)*Z(TRA,DT1)/Z.0
704 GO TO 70
65 SXB(J)=XB(J)*(Z(TRA,DT1)+Z(TRA,DT2))/Z.0
70 SDC(J)=SDC(J)+C(ISS,3)*SXB(J)
SDD(J)=SDD(J)+D(ISS,3)*SXB(J)
SDE(J)=SDE(J)+E(ISS,3)*SXB(J)
SDF(J)=SDF(J)+F(ISS,3)*SXB(J)
63 RA=1/DLAM(4,ISS)
IF(L,LU,1) GO TO 64
IF(J,LU,7+LSS-1) GO TO 64
ITT=DT3/DT4*EXP(-1.0*RA*RA*(DT3-DT4))*Z(TRA,DT4)/Z(TRA,DT3)
IF(J,LU,7+LSS-1) GO TO 64
AC(7+LSS-1)=AC(7+LSS-1)+AC(J)*(1-ITT)
AC(J)=AC(J)+ITT
64 IF(DT2,NE,0.0) GO TO 71
SAC(J)=AC(J)*Z(TRA,DT1)/Z.0
705 GO TO 72
71 SAX(J)=AC(J)*(Z(TRA,DT1)+Z(TRA,DT2))/Z.0
72 SDC(J)=SDC(J)+C(ISS,4)*SAC(J)
SDD(J)=SDD(J)+D(ISS,4)*SAC(J)
SDE(J)=SDE(J)+E(ISS,4)*SAC(J)
SDF(J)=SDF(J)+F(ISS,4)*SAC(J)
64 SDDC(LSS,ISS)=SDDC(LSS,ISS)+SDC(J)
SDDJ(LSS,ISS)=SDDJ(LSS,ISS)+SDD(J)
SDDI(LSS,ISS)=SDDI(LSS,ISS)+SDE(J)
SDDF(LSS,ISS)=SDDF(LSS,ISS)+SDF(J)
WA(L)=WA(L)+AX(J)
LL(L)=LL(L)+AL(J)
LB(L)=LB(L)+XB(J)
CC(L)=CC(L)+AC(J)
BZ(L)=BZ(L)+(DTAU1(J,L)+DTAU2(J,L))/Z.0*WA(J)/DLAM(1,ISS)
BZL(L)=BZL(L)+(DTAU1(J,L)+DTAU2(J,L))/Z.0*AL(J)/DLAM(2,ISS)
BZB(L)=BZB(L)+(DTAU1(J,L)+DTAU2(J,L))/Z.0*XB(J)/DLAM(3,ISS)
BZC(L)=BZC(L)+(DTAU1(J,L)+DTAU2(J,L))/Z.0*AC(J)/DLAM(4,ISS)
17 CONTINUE
WRITE(6,207) LSS
WRITE(6,208) (J,SDC(J),SDD(J),SDE(J),SDF(J)),J=1,7+LSS-1)
WRITE(6,209) (SDDC(LSS,ISS),SDDJ(LSS,ISS),SDDI(LSS,ISS),SDDF(LSS,ISS),
15)
WRITE(6,210)
WRITE(6,211) (J,SXW(J),SXL(J),SXB(J),SXC(J)),J=1,7+LSS-1)
94 CONTINUE
DO 707 J=1,7+LSS-1
XW(J,L)=XW(J,L)+SXW(J)
XLL(J,L)=XLL(J,L)+SXL(J)
XLB(J,L)=XLB(J,L)+SXB(J)
XLC(J,L)=XLC(J,L)+SXC(J)
707 CONTINUE
BZ1(L)=BZ1(L)+BZ(L)
BZ2(L)=BZ2(L)+WA(L)+LL(L)+LB(L)+CC(L)
16 CONTINUE
80 IF(ISS,NE,6) GO TO 53
DO 708 L=1,9
BZ(L)=BZ1(L)/BZ2(L)
708 CONTINUE
WRITE(6,210)
WRITE(6,211) ((XW(J,L),J=1,15),(XLL(J,L),J=1,15),(XLB(J,L),J=1,15),
1),(XLC(J,L),J=1,15),(SDDC(LSS,ISS),ISS=1,6),(SDDJ(LSS,ISS),ISS=1,6),
200ETL,ISS),ISS=1,6),(SDDF(LSS,ISS),ISS=1,6)),L=1,9)
WRITE(6,232) (L,BZ(L)),L=1,9)
232 FORMAT(1H0,14H MATURITY F.%,4(7H (TIME=,12,2H ),F8.5,2X)/5(7H (T
IME=,12,2H ),F8.5,2X))

```

```

101 FORMAT(4F6.1)
102 FORMAT(9F6.1)
103 FORMAT(4F6.2)
106 FORMAT(4(5X,F10.0))
201 FORMAT(1H0,20H KIND OF BUILDING = ,I1)
202 FORMAT(1H0,20H AREA OF FLOOR SPACE/1H0,9H YEAR NO.,9H WOODEN ,9H
1LIGHT 5 ,9H BLOCK ,9H CONCRETE)
205 FORMAT(5X,12,3X,4F9.1)
204 FORMAT(1H0,21H QUANTITY OF MATERIAL/1H0,9H YEAR NO.,9H WOOD ,9H
1 STEEL ,9H CONCRETE,9H ETC. )
203 FORMAT(5X,12,3X,4F9.1)
206 FORMAT(6H SUM.,3X,4F9.1)
207 FORMAT(1H0,15H FUTURE TIME = ,12/1H0,18H QUANTITY OF WASTE)
208 FORMAT(2(5X,12,3X,4F9.3))
209 FORMAT(6H SUM.,3X,4F9.1)
220 FORMAT(1H0,21H AREA OF DECOR. FLOOR)
221 FORMAT(2(5X,12,3X,4F9.3))
210 FORMAT(1H1,11H AREA TOTAL/1H0,21H AREA OF DECOR. FLOOR)
211 FORMAT(1H0,10H WOODEN ,6F10.2/7F10.2/11H LIGHT 5 ,6F10.2/7F10.
10/11H BLOCK ,6F10.2/7F10.2/11H CONCRETE ,6F10.2/7F10.2/9H WOOD
2D ,6F10.3/9H STEEL ,6F10.3/9H CONCRE ,6F10.3/9H GLASS ,6F1
30.3)
STOP
END

```

```

FUNCTION Z(MA,T)
INTEGER P,PP
K=5
IF(T.NE.0.0) GO TO 21
Z=0.0
GO TO 22
21 GG2=0.0
DO 10 P=1,K
PS=1.0
IF(P.EQ.1) GO TO 14
IF(P.EQ.2) GO TO 13
DO 11 PP=1,P-1
PS=PS*(K-PP)
11 CONTINUE
GO TO 14
13 PS=(K-1)
14 GZ=TA*(K-P)*PS/(IRANK)*RP
GG2=GG2+GZ
10 CONTINUE
Z=TA*(K-1)/GG2
22 CONTINUE
RETURN
END

```

PROGRAM 3

```

C      T,MORIOKA      SOLID WASTE MATRIX
      DIMENSION KP(2000),KPA(2000),EA(2000),KPB1(2000),EB1(2000)
      DIMENSION KPB2(2000),EB2(2000),OO(21,21),SSS(21,21)
      DIMENSION LPA(70),DA(70),LPB1(70),DB1(70),LPB2(70),DB2(70)
      DIMENSION BB(21),AA(21),NN(21),MM(21)
      DIMENSION ALF(21,21),AL(21,21),MN(21,21)
      INTEGER PA,PB1,PB2
      INTEGER KP,KPA,EA,KPB1,EB1,KPB2,EB2
      REAL GO
      INTEGER PIN
      INTEGER P,A,B1,B2
      PIN=C1055
      DO 40 I=1,21
      BB(I)=0.0
      NN(I)=0
      AA(I)=0.0
      MM(I)=0
      DO 41 J=1,21
      MN(I,J)=0
      OO(I,J)=0.0
      ALF(I,J)=0.0
41  AL(I,J)=0.0
40  CONTINUE
      K=1
      I=0
11  CONTINUE
      I=I+1
      READ(5,104) KP(I),KPA(I),EA(I),KPB1(I),EB1(I),KPB2(I),EB2(I)
      P=KP(I)
      PA=KPA(I)
      A=EA(I)
      PB1=KPB1(I)
      B1=EB1(I)
      PB2=KPB2(I)
      B2=EB2(I)
      IF(PA,NE.0) GO TO 601
      PA=21
601  LPA(K)=PA
      DA(K)=A
      IF(PB1,EQ.0) GO TO 61
      PB1=PB1-10
      GO TO 62
61  PB1=21
62  LPB1(K)=PB1
      DB1(K)=B1
      IF(PB2,EQ.0) GO TO 63
      PB2=PB2-10
      GO TO 64
63  PB2=21
64  LPB2(K)=PB2
      DB2(K)=B2
      IF(P,EQ,PIN) GO TO 13
      GO TO 14
13  K=K+1
      GO TO 11
14  K=K-1
80  DO 81 KK=1,KO
      IF(DB1(KK),EQ.0.0) GO TO 82
      PB1=LPB1(KK)
      BB(PB1)=BB(PB1)+DB1(KK)
      NN(PB1)=NN(PB1)+1
      IF(DB2(KK),EQ.0.0) GO TO 83
      PB2=LPB2(KK)
      BB(PB2)=BB(PB2)+DB2(KK)
      NN(PB2)=NN(PB2)+1
83  CONTINUE
      DO 84 K=1,KO
      IF(DA(K),EQ.0.0) GO TO 85
      PA=LPA(K)
      PB1=LPB1(KK)
      IF(KK,EQ.1) GO TO 86
      GO TO 87
86  AA(PA)=AA(PA)+DA(K)
      MM(PA)=MM(PA)+1

```

```

87 MN(PA,PB1)=MN(PA,PB1)+1
   QQ(PA,PB1)=QQ(PA,PB1)+DB1(KK)
   IF(DB2(KK),EQ,C,C) GO TO 88
   MN(PA,PB2)=MN(PA,PB2)+1
   QQ(PA,PB2)=QQ(PA,PB2)+DB2(KK)
88 CONTINUE
85 CONTINUE
84 CONTINUE
81 CONTINUE
82 K=2
   LPA(1)=LPA(KO+1)
   DA(1)=DA(KO+1)
   LPB1(1)=LPB1(KO+1)
   DB1(1)=DB1(KO+1)
   LPB2(1)=LPB2(KO+1)
   DB2(1)=DB2(KO+1)
   PIN=P
   IF(P,EQ,99999) GO TO 501
   GO TO 11
501 DO 51 I=1,21
   DO 52 J=1,21
   MN(I,J)=0.0
   IF(BB(J),EQ,0.0) GO TO 53
   SSS(I,J)=QQ(I,J)/BB(J)
   GO TO 52
53 SSS(I,J)=0.0
52 CONTINUE
51 CONTINUE
   I=0
   K=1
   PIN=01055
502 I=I+1
   P=KP(I)
   PA=KPA(I)
   A=EA(I)
   PB1=KPB1(I)
   B1=EB1(I)
   PB2=KPB2(I)
   B2=EB2(I)
   IF(PA,NE,0) GO TO 600
   PA=21
600 LPA(K)=PA
   DA(K)=A
   IF(PB1,EQ,0) GO TO 503
   PB1=PB1-10
   GO TO 504
503 PB1=21
504 LPB1(K)=PB1
   DB1(K)=B1
   IF(PB2,EQ,0) GO TO 505
   PB2=PB2-10
   GO TO 506
505 PB2=21
506 LPB2(K)=PB2
   DB2(K)=B2
   IF(P,EQ,PIN) GO TO 507
   GO TO 508
507 K=K+1
   GO TO 502
508 KO=K-1
90 DO 91 K=1,KO
   IF(DA(K),EQ,C,C) GO TO 17
   PA=LPA(K)
   ST=0.0
   DO 92 KK=1,KO
   IF(DB1(KK),EQ,C,C) GO TO 510
   PB1=LPB1(KK)
   ST=ST+SSS(PA,PB1)
510 IF(DB2(KK),EQ,0.0) GO TO 92
   PB2=LPB2(KK)
   ST=ST+SSS(PA,PB2)
92 CONTINUE
   IF(ST,EQ,0.0) GO TO 91
   DO 93 KK=1,KO
   IF(DB1(KK),EQ,0.0) GO TO 512

```

```

PB1=LPB1(KK)
MN(PA,PB1)=MN(PA,PB1)+1
DAB1=DB1(KK)/(DA(K)*SSS(PA,PB1)/ST)
ALF(PA,PB1)=ALF(PA,PB1)+DAB1
AL(PA,PB1)=AL(PA,PB1)+(DAB1)**2
512 IF(DE2(KK).EQ.0.0) GO TO 511
PB2=LPB2(KK)
MN(PA,PB2)=MN(PA,PB2)+1
DAB2=DB2(KK)/(DA(K)*SSS(PA,PB2)/ST)
ALF(PA,PB2)=ALF(PA,PB2)+DAB2
AL(PA,PB2)=AL(PA,PB2)+(DAB2)**2
511 CONTINUE
93 CONTINUE
91 CONTINUE
17 K=2
LPA(1)=LPA(KO+1)
DA(1)=DA(KO+1)
LPB1(1)=LPB1(KO+1)
DB1(1)=DB1(KO+1)
LPB2(1)=LPB2(KO+1)
DB2(1)=DB2(KO+1)
PIN=P
IF(P.EQ.99999) GO TO 31
GO TO 502
71 DO 72 I=1,21
DC 73 J=1,21
IF(ALF(I,J).EQ.0.0) GO TO 71
ALF(I,J)=MN(I,J)/ALF(I,J)
ALLL=AL(I,J)/MN(I,J)-1.0/ALF(I,J)**2
IF(ALLL.LT.0.0) GO TO 70
AL(I,J)=SORT(ALLL)
GO TO 73
71 ALF(I,J)=0.0
70 AL(I,J)=0.0
73 CONTINUE
72 CONTINUE
12 WRITE(6,207)
WRITE(6,201)(NN(J),J=1,21)
WRITE(6,301)
WRITE(6,202)((MM(I),(MN(I,J),J=1,21)),I=1,21)
WRITE(6,302)
WRITE(6,203)(BB(J),J=1,21)
WRITE(6,303)
WRITE(6,204)((AA(I),(ALF(I,J),J=1,21)),I=1,21)
WRITE(6,304)
WRITE(6,206)((AL(I,J),J=1,21),I=1,21)
104 FORMAT(15,I3,19,30X,12,I9,12,I9)
201 FORMAT(1HC,21I6)
301 FORMAT(31H(MM(I),(MN(I,J),J=1,21)),I=1,21)
202 FORMAT(1HO,16/1HO,21I6)
302 FORMAT(13H BB(J),J=1,21)
203 FORMAT(1HC,10X,10E10.3/1HC,10X,11E10.3)
303 FORMAT(32H(AA(I),(ALF(I,J),J=1,21)),I=1,21)
204 FORMAT(1HC,11E11.3/1HO,10X,11E10.3)
304 FORMAT(23H(AL(I,J),J=1,21),I=1,21)
206 FORMAT(1HO,10X,10E10.3/1HC,10X,11E10.3)
207 FORMAT(13H NN(J),J=1,21)
STOP
END

```

PROGRAM 4

```

C      VARIMAX METHOD ANALYSIS OF SOCIAL METABOLISM , T.MORIOKA
COMMON R(30,30)
DIMENSION A(30),B(30),S(30),W(30),G(30,30),WS(30)
READ(5,100)N,NC,NL,P
CALL MOMENT
WRITE(6,300)
DO 310 I=1,N
310 WRITE(6,112)(R(I,:),J=1,1)
WRITE(6,301)N,NC,NL,P
DO 6 I=1,N
DO 8 J=1,N
8  B(I,J)=0.0
6  B(I,J)=1.0
FN=N
L=0
10 L=L+1
LL=0
T1=0.0
CALL TRIAL2
20 LL=LL+1
IF(LL.GT.NL) GO TO 69
SS=0.0
DO 22 I=1,N
22 SS=SS+A(I)**2
SS=SS/FN
DO 24 I=1,N
24 B(I)=A(I)**3-A(I)*SS
DO 30 I=1,N
S(I)=0.0
DO 30 J=1,N
30 S(I)=S(I)+R(I,J)*B(J)
T=0.0
DO 40 I=1,N
40 T=T+S(I)*B(I)
TS=SQRT(T)
DO 42 I=1,N
W(I)=B(I)/TS
42 A(I)=S(I)/TS
E=ABS(T1/TS-1.0)
T1=TS
IF(E.GT.P) GO TO 20
DO 44 I=1,N
WS(I)=0.0
DO 44 J=1,N
44 WS(I)=WS(I)+B(I,J)*W(J)
TS=TS/FN
WRITE(6,110)L,TS
WRITE(6,111)
WRITE(6,116)
WRITE(6,112)(A(I),I=1,N)
WRITE(6,112)(WS(I),I=1,N)
IF(L.EQ.NC) GO TO 90
DO 50 I=1,N
DO 50 J=1,N
50 R(I,J)=R(I,J)-A(I)*A(J)
DO 55 I=1,N
DO 55 J=1,N
55 B(I,J)=B(I,J)-WS(I)*A(J)
GO TO 10
69 WRITE(6,113) NL
100 FORMAT(3I4,F8.4)
110 FORMAT(1H0,13HCOMPOSITE NO.,12,3X,21HVARIMAX CRITERION V=,F6.3)
111 FORMAT(1H0,16HSTRUCTURE VECTOR)
112 FORMAT(1H ,15F8.3)
113 FORMAT(1H0,54HDO NOT CONVERGE WITHIN LIMIT NUMBER OF ITERATIONS (N
1L=,14,1H)*)
116 FORMAT(1H0,13HEIGHT VECTOR)
300 FORMAT(1H1,14HVARIMAX METHOD/1H0,4HDATA,2X,18HMOMENT CORRELATION)
301 FORMAT(1H0,2HN=,13,5X,3HNC=,13,5X,3HNL=,13,5X,2HP=,F10.4//8H RESUL
1TS,/)
90 STOP
END

SUBROUTINE MOMENT
COMMON R(30,30)
DIMENSION MEAN(30),SD(30),X(30)

```

```

      INTEGER DA(30)
      INTEGER PA,PB1,PB2
      REAL MEAN
5     READ(5,100)N
      WRITE(6,300)
      DO 10 J=1,N
      MEAN(J)=0.0
      SD(J)=0.0
      DO 10 K=1,J
10    R(J,K)=0.0
      NS=0
      8 READ(5,101)(DA(I),I=1,N)
      IF(DA(1).EQ.99999) GO TO 9
      DO 29 I=1,N
29    X(I)=FLOAT(DA(I))
      NS=NS+1
      DO 14 J=1,N
      MEAN(J)=MEAN(J)+X(J)
      SD(J)=SD(J)+X(J)**2
      DO 14 K=1,J
14    R(J,K)=R(J,K)+X(J)*X(K)
      GO TO 8
      9 FNS=NS
      DO 16 J=1,N
      MEAN(J)=MEAN(J)/FNS
      SD(J)=SQRT(SD(J)/FNS-MEAN(J)**2)
      DO 16 K=1,J
      R(J,K)=(R(J,K)/FNS-MEAN(J)*MEAN(K))/(SD(J)*SD(K))
16    R(K,J)=R(J,K)
      WRITE(6,108)NS
      WRITE(6,103)
      DO 18 J=1,N
18    WRITE(6,104)J,MEAN(J),SD(J)
      WRITE(6,105)
      DO 20 J=1,N
20    WRITE(6,106)(R(J,K),K=1,J)
      WRITE(6,109)((R(I,J),I=1,N),J=1,N)
100   FORMAT(14)
101   FORMAT(1615)
102   FORMAT(1H0.49H  VARIABLES      MEANS      STANDARD DEVIATIONS)
103   FORMAT(1H .18.3X.F12.5,10X.F12.5)
104   FORMAT(1H0.24H CORRELATION COEFFICIENTS)
105   FORMAT(1H .15F8.3)
106   FORMAT(1H0.19HNUMBER OF SUBJECTS=.14)
107   FORMAT(16F7.4)
300   FORMAT(1H1.42HMEANS,STANDARD DEVIATIONS AND CORRELATIONS.//)
90    RETURN
      END

```

```

      SUBROUTINE TRIAL2
      COMMON R(30,30)
      DIMENSION RS(30,30),A(30),S(30),SS(30)
      READ(5,100)N
      DO 10 I=1,N
      DO 10 J=1,N
10    RS(I,J)=R(I,J)**2
      DO 12 I=1,N
12    RS(I,I)=0.0
      DO 14 I=1,N
      S(I)=0.0
      SS(I)=-R(I,I)
      DO 14 J=1,N
      S(I)=S(I)+RS(I,J)
14    SS(I)=SS(I)+R(I,J)
      FN1=N-1
      DO 16 I=1,N
16    S(I)=S(I)-SS(I)**2/FN1
      J=1
      DO 18 I=2,N
      IF(S(J)-S(I))19,18,18
19    J=1
18    CONTINUE
      DO 20 I=1,N
20    A(I)=R(I,J)
100   FORMAT(14)
      RETURN
      END

```

PROGRAM 5

```

COMMON X1,X2,Y1,Y2,R
DIMENSION RR(5,5),BX1(5,5),BX2(5,5),Y1(5,5),Y2(5,5)
DIMENSION RRR(5,5)
DIMENSION XZ(5,5),KX(5,5)
DIMENSION UH1(5,5),UH2(5,5),WF1(5,5),WF2(5,5)
DIMENSION F(5,5),S(5,5),RS1(5,5),RS2(5,5)
DIMENSION ZA(5,5)
REAL XZ,RR
REAL R,RR,RRR
INTEGER IS
READ(5,105)((UH1(I,J),UH2(I,J),WF1(I,J),WF2(I,J)),J=1,5),I=1,5)
READ(5,101)((F(I,J),J=1,5),I=1,5)
ISS=0
TS=0
DO 90 I=1,5
DO 91 J=1,5
KZ(I,J)=0.2
KX(I,J)=0.05
91 CONTINUE
90 CONTINUE
DO 14 I=1,5
DO 13 J=1,5
BX1(I,J)=0.0
BX2(I,J)=0.0
Y1(I,J)=0.0
Y2(I,J)=0.0
IF(I.EQ.1) GO TO 10
BX2(I,J)=F(I,J)/4.0
10 IF(I.EQ.5) GO TO 11
BX1(I,J)=F(I,J)/4.0
11 IF(J.EQ.1) GO TO 12
Y1(I,J)=F(I,J)/4.0
12 IF(J.EQ.5) GO TO 13
Y2(I,J)=F(I,J)/4.0
13 CONTINUE
14 CONTINUE
READ(5,105)((RS1(I,J),RRR(I,J)),J=1,5),I=1,5)
51 CONTINUE
TS=TS+1
50 ISS=ISS+1
DO 15 I=1,5
DO 16 J=1,5
ZA(I,J)=RS1(I,J)/(RRR(I,J)*1000.0)
A=0.06/(0.02-ZA(I,J))-3.0
IF(I.EQ.5) GO TO 17
BX1=0.75/(0.5-BX1(I,J)/UH1(I,J))
17 IF(I.EQ.1) GO TO 18
BX2=0.75/(0.5-BX2(I,J)/UH2(I,J))
18 IF(J.EQ.1) GO TO 19
BY1=0.75/(0.5-BY1(I,J)/WF1(I,J))
19 IF(J.EQ.5) GO TO 20
BY2=0.75/(0.5-BY2(I,J)/WF2(I,J))
20 IF(I.EQ.5) GO TO 21
X1=HIDJ(A,BX1)
GO TO 22
21 X1=0.0
22 R1=1.0-X1
IF(I.EQ.1) GO TO 23
X2=HIDJ(A,BX2)
GO TO 24
23 X2=0.0
24 R2=1.0-X2
IF(J.EQ.1) GO TO 25
Y1=HIDJ(A,BY1)
GO TO 26
25 Y1=0.0
26 R3=1.0-Y1
IF(J.EQ.5) GO TO 27
Y2=HIDJ(A,BY2)
GO TO 28
27 Y2=0.0
28 R4=1.0-Y2.

```



```

WRITE(6,203) X1,X2,Y1,Y2,OX1(1,J),OX2(1,J),OY1(1,J),OY2(1,J),ZA(1,
1,J)
CALL DABIN
WRITE(6,204) X1,X2,Y1,Y2,K
RX(1,J)=P(1,J)*R
UX1(1,J)=P(1,J)*X1
UX2(1,J)=P(1,J)*X2
UY1(1,J)=P(1,J)*Y1
UY2(1,J)=P(1,J)*Y2
15 CONTINUE
15 CONTINUE
IF(ISS.E1.5) GO TO 50
DO 34 I=1,5
DO 33 J=1,5
IF(I.EQ.1) GO TO 30
IP=I-1
S(1,J)=P(1,J)-UX2(1,J)+OX1(IP,J)
IF(I.EQ.5) GO TO 31
IP=I+1
S(1,J)=S(1,J)-UX1(1,J)+OX2(IP,J)
30 IF(I.EQ.5) GO TO 31
IP=I+1
S(1,J)=P(1,J)-OX1(1,J)+OX2(IP,J)
31 IF(J.EQ.1) GO TO 32
JP=J-1
S(1,J)=S(1,J)-OY1(1,J)+OY2(JP,J)
32 IF(J.EQ.5) GO TO 33
JP=J+1
S(1,J)=S(1,J)-OY2(1,J)+OY1(1,JP)
33 CONTINUE
34 CONTINUE
RS1(1,J)=RS1(1,J)*(1.0-CC2(1,J))+S(1,J)*CC(1,J)
RS2(1,J)=RS2(1,J)+RS1(1,J)*CC2(1,J)+S(1,J)*(1.0-CC(1,J))
WRITE(6,201)((RX(1,J),J=1,5),I=1,5),((OX1(1,J),J=1,5),I=1,5),((OX2
(1,J),J=1,5),I=1,5),((OY1(1,J),J=1,5),I=1,5),((OY2(1,J),J=1,5),I=1
2,5)
WRITE(6,202)((RS1(1,J),RS2(1,J)),J=1,5),I=1,5)
ISS=0
IF(I5.E1.5) GO TO 51
109 FORMAT(2F7.1)
101 FORMAT(5F7.1)
105 FORMAT(10F8.2)
201 FORMAT(10F8.2)
202 FORMAT(10F8.2)
203 FORMAT(10F8.4)
204 FORMAT(5F8.4)
STOP
END

```

```

FUNCTION HIBU(A,B)
IF(B.LE.1.0) GO TO 11
V=0-1.0
HIBU=A/(V+A)
GO TO 13
11 HIBU=0.0
GO TO 13
12 HIBU=1.0
13 RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DAISH
COMMON X1,X2,Y1,Y2,K
DIMENSION XY(4)
INTEGER SS1,SS2,SS3,SS4
XY(1)=X1
XY(2)=X2
XY(3)=Y1
XY(4)=Y2
DA1=AMAX1(X1,X2,Y1,Y2)
SH0=AMIN1(X1,X2,Y1,Y2)
IF(X1.NE.DA1) GO TO 10
SS1=1
DA11=AMAX1(X2,Y1,Y2)
IF(X2.NE.DA11) GO TO 11
SS2=2
IF(Y2.NE.SH0) GO TO 13
SS4=4
SS3=3
GO TO 50
13 SS4=3
SS3=4
GO TO 50
11 IF(Y1.NE.DA11) GO TO 14
SS2=3
GO TO 15
14 SS2=4
IF(Y1.NE.SH0) GO TO 16
SS4=3
SS3=4
GO TO 50
16 SS4=4
SS3=3
GO TO 50
15 IF(X2.NE.SH0) GO TO 17
SS3=4
SS4=2
GO TO 50
17 SS3=2
SS4=4
GO TO 50
10 IF(X2.NE.DA1) GO TO 20
SS1=2
DA11=AMAX1(X1,Y1,Y2)
IF(X1.NE.DA11) GO TO 21
SS2=1
IF(Y2.NE.SH0) GO TO 23
SS4=4
SS3=3
GO TO 50
23 SS4=3
SS3=4
GO TO 50
21 IF(Y1.NE.DA11) GO TO 24
SS2=3
GO TO 25
24 SS2=4
IF(Y1.NE.SH0) GO TO 26
SS4=3
SS3=4
GO TO 50
26 SS4=4
SS3=3
GO TO 50
25 IF(X1.NE.SH0) GO TO 27
SS3=4
SS4=1
GO TO 50
27 SS3=1
SS4=4
GO TO 50

```

```

20 IF(Y1,NE,DA1) GO TO 30
   SS1=3
   DA11=AMAX1(X2,X1,Y2)
   IF(X2,NE,DA11) GO TO 31
   SS2=2
   IF(Y2,NE,10) GO TO 33
   SS4=4
   SS3=1
   GO TO 50
33 SS4=1
   SS3=4
   GO TO 50
31 IF(X1,NE,DA11) GO TO 34
   SS2=1
   GO TO 35
34 SS2=4
   IF(X1,NE,SHU) GO TO 36
   SS4=1
   SS3=4
   GO TO 50
36 SS4=4
   SS3=1
   GO TO 50
35 IF(X2,NE,SHU) GO TO 37
   SS3=4
   SS4=2
   GO TO 50
37 SS3=2
   SS4=4
   GO TO 50
30 SS1=4
   DA11=AMAX1(X2,Y1,X1)
   IF(X2,NE,DA11) GO TO 41
   SS2=2
   IF(X1,NE,SHU) GO TO 43
   SS4=1
   SS3=3
   GO TO 50
43 SS4=3
   SS3=1
   GO TO 50
41 IF(Y1,NE,DA11) GO TO 44
   SS2=3
   GO TO 45
44 SS2=1
   IF(Y1,NE,SHU) GO TO 46
   SS4=3
   SS3=1
   GO TO 50
46 SS4=1
   SS3=3
   GO TO 50
45 IF(X2,NE,SHU) GO TO 47
   SS3=1
   SS4=2
   GO TO 50
47 SS3=2
   SS4=1
   GO TO 50
50 XY(SS1)=XY(SS1)
   XY(SS2)=(1.0-XY(SS1))*XY(SS2)
   XY(SS3)=(1.0-XY(SS1)-XY(SS2))*XY(SS3)
   XY(SS4)=(1.0-XY(SS1)-XY(SS2)-XY(SS3))*XY(SS4)
   X1=XY(1)
   X2=XY(2)
   Y1=XY(3)
   Y2=XY(4)
   R=1.0-X1-X2-Y1-Y2
   RETURN
END

```

文 献

- 1) 都市廃棄物処理対策研究会： 廃棄物に関する調査研究報告（1970）
- 2) F.Popel, K.C.Shin and M.Ferber V: Vorschlage zur schadlosen Beseitigung und Aufberitung fester und flussiger Siedlungsabfall der Landkreise, Forschungs- und Entwicklungsinstitut fur Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft so wie Abfallwirtschaft, e. V. in Stuttgart, Nov., (1966)
- 3) U.S.Department of Health, Education, and Walfare : A Systems Study of Solid Waste Management, Final Report on a Solid Waste Management Demonstration.
- 4) B.P.Helms and R.M.Clark : Selecting Solid Waste Disposal Facilities, Jour. of the Sanitary Engineering Division Proc. of the American Society of Civil Engineers. August, (1971)
- 5) J.E.Quen, A.Charnes and S.J.Wersan : Simulation and analysis of a refuse collection system, Sanitary Engineering Division, Proc. A.S.C.E. Vol.91 Oct.(1965)
- 6) T.M.Rachford, R.F.Scarato and George Tchobanoglous : Time-Capacity Expansion of Waste Treatment Systems, Jour. of Sanitary Eng.Div., Proc. of ASCE, Dec., (1969)
- 7) 半谷・安部： 社会地球化学， 紀伊国屋書店（1966）
- 8) K.Sugiyama, Y.Shimazu, T.Urabe, T.Kojima and E.Tomida : Some Problems in Ecology Oriented Environmentology Terrestrial Environmentology I, II, III, Jour. of Earth. Sci. Nagoya Univ., Vol.20, No.1, (1972)
- 9) 半谷・安部・松本： 都市のスタンディングマス， 日本地球化学会討論会講演あるいは半谷： 都市の社会地球化学研究方法论， 人間生存と自然環境 1 東京大学出版会(1972)
- 10) アベル・ウォルマン： 都市の新陳代謝， 都市の科学（中江訳， 紀伊国屋書店， 1966）Scientific American "Citys" Alfred A.Knopt Inc. (1965)
- 11) Allen V.Kneese : Directions of Needed Research and International Cooperation in the Future, International Symposium on Environmental Disruption in the Modern World - A Challenge to Social Scientists - (1970)
- 12) Odum, H.T. : Environment Power and Society, Wiley (1971)
- 13) K.E.F.Watt : Principles of environmental science, McGRAW HILL (1973)
- 14) 末石・和田ほか： 下水道計画の高度化に関する研究（I），（II），下水道協会誌， No.436 （1971）
- 15) 末石・内藤： 上下水道における最適化手法， 土木計画学講習会テキスト 4 （1970）
- 16) 末石・南本： 流域都市の汚濁負荷配分について， 第4回環境工学研究討論会講演論文集（1967）
- 17) 池田： 都市域における大気汚染濃度予測に関する研究， 京都大学学位論文（1973）
- 18) F.M.Stead and P.H.McGauhey : Air, Water, Land and People Jour. of W.P.C.F. p 233~240, Feb., (1968)
- 19) J.A.Logan : Environmental Engineering and Metropolitan Planning, Conf. of Environmental Engineering and Metropolitan Planning (1971)
- 20) 石原ほか： 都市社会システム， システム工学講座， 日刊工業新聞社（1973）
- 21) Jay W.Forrester : Urban Dynamics M.I.T.Press (1969)
小玉 訳 アーバndaイナミックス， 日本経営出版会（1970）
- 22) Garrett Eckbo : The Landscape We See, McGraw-Hill, (1969)
邦訳 景観論（久保， 中村， 吉田， 上杉 訳） 鹿島出版会（1972）
- 23) 渡辺： 環境計画序説， 都市計画 Vol.76 (1973)
- 24) 末石・盛岡： 断面流動調査に基づく廃棄物環境の解析， 土木学会論文報告集 No.200 （1972）
- 25) オペーリン， フラトーノフ： 生物界の弁証法， たたら書房（高橋， 河辺， 亀井共訳）
- 26) 末石・和田・盛岡： 潜在廃棄物を対象とした物的環境調査， 第7回土木計画学シンポジウム（1973）
- 27) 末石： 環境計画と廃物ー環境における廃物の計画化への試みー， 用水と廃水， Vol.11, No.7 （1969）
- 28) 中村ほか： 科学の方法， 岩波講座 哲学12（1971）
- 29) 長尾： 土木計画序論， 共立出版（1972）
- 30) 末石・盛岡： 環境計画についての基礎的研究， 昭和44年度土木学会年次学術講演会講演概要集（1969）
- 31) 末石・盛岡： 廃棄物の流動を指標とした環境計画， 第25回土木学会年次学術講演会講演概要集（1970）
- 32) 京大衛生工学会室岩井研究室： 兵庫県下7都市における不燃性廃棄物の調査報告（1970）
- 33) 和田： 廃棄物を中心とした環境調査， 産業廃棄物処理対策基本構想研究報告書（富山県産業廃棄物処理対策研究会）（1972）
- 34) 科学技術庁資源調査会： これからの都市生活環境， 大蔵省印刷局（1970）
- 35) 末石： 環境容量と蓄積型都市人口容量， 都市問題研究， Vol.25, No.2（1973）
- 36) Aeroplane Photography in Town Planning, Town Planning Review, May, p.99-100, Sep., p.181-182 (1923)
- 37) Robert .Holz and Robert E.Boyer : Patterns from Apollo VI Photo, Photogrammetric Engineering Vol.XXXVIII, No.10 (1972) p.974-984

- 38) Robert J.Reimond, John L.Gallagher and Donald E.Thompson : Remote Sensing of Tidal Marsh, Photogrammetric Engineering Vol.XXXIX No.5 (1973) p.477-488
- 39) Leonard A.Leschack : ADP of Forest Imagery,Photogrammetric Engineering Vol.XXXVII (1971) p.885-896
- 40) Edward Yost and Sondra Wenderoth : Multispectral Color for Agriculture and Forestry,Photogrammetric Engineering Vol.XXXVI (1971) p.590-604
- 41) Edward Yost and Sondra Wenderoth : Multispectral Color Aerial Photography, Photogrammetric Engineering Vol.XXXVII (1971) p.1020-1033
- 42) H.Kenneweg,Freiburg : Auswertung von Farbluftbildern fur die Abgrenzung von Schadigungen an Waldbestanden,Photogrammetrie Sep. (1971) p.283-290
- 43) W.Tzschupke,Freiburg : Farbmessungen an Luftbildern fur vegetationskundliche Zwecke,Photogrammetrie Jan.(1973) p.12-20
- 44) Kenneth R.Piech and J.E.Walker : Outfall Inventory Using Interpretation, Photogrammetric Engineering Sep.(1972) p.907-914
- 45) Robert H.L.Howe : The Application of Aerial Photographic Interpretation to the Investigation of Hydrologic Problems,Photogrammetric Engineering p.85 95
- 46) 寺曲 : 市街地雨水排除計画の合理化に関する研究 — 空中写真の機械的解析による流出係数の算定法について — 土木学会第24回年次学術講演会講演集 (1969)
- 47) Janice M.Whipple : Surveillance of Water Quality,Photogrammetric Engineering, Feb. (1973) p.137-145
- 48) James,W. and Burgess,F.J. :Ocean Outfall Dispersion,Photogrammetric Eng. Vol.36 No.12,p.1241-1250 (1970)
- 49) S.A.Veress : Extinction Coefficient,Photogrammetric Engineering,Feb. p.183-191 (1972)
- 50) Delmar E.Andderson and Philip N.Anderson : Population Estimates by Humans and Machines,Photogrammetric Engineering Feb. (1973) p.147-154
- 51) Norman E. Green : Aerial Photographic Interpretation and the Social Structure of the City,Photogrammetric Engineering, P.89-96
- 52) Melville C.Branch : City Planning and Aerial Information,Harvard University
- 53) James D.turinetti and Olin W.Mintzer : Computer Analysis of Imagery,Photogrammetric Engineering,May (1973) p.501-505
- 54) 末石・盛岡・稲葉 : 廃棄物の流動を指標とした環境計画 V , 第28回土木学会年次学術講演会講演概要集 (1973)
- 55) 市川・小林・村田 : 視覚的方法に基づく環境の評価 , 第7回土木計画学シンポジウム (1973)
- 56) 辻藤 : 都市建築物の老朽からみた都市代謝の研究 , 京都大学大学院工学研究科修士論文 (1972)
- 57) Lynch,K. : The Image of the City. M.I.T.Press (1960)
邦訳「都市のイメージ」(丹下:富田共訳) 岩波書店 (1968)
- 58) 堀内・田嶋・洲本・田中 : 航空写真による海水中の染料拡散調査に関する研究 — 写真濃度測定による拡散の解析 , Vol.10 No.2 p.14-21 (1971)
- 59) 末石・盛岡 : 廃棄物の流動を指標とした環境計画 IV , 第27回土木学会年次学術講演会講演概要集 (1972)
- 60) 神戸市計画局 : 土地家屋現況調査 (1970)
- 61) 菊竹 : 代謝建築論 , 彰国社 (1969)
- 62) 松下 : 建築耐用計画 , 鹿島出版会 (1970)
- 63) 棚橋 編 : 建築見積りハンドブック , 朝倉書店 (1966)
- 64) 朝日新聞 1971年 1月 17日
- 65) 末石・盛岡・高橋 : 汚泥の地域分布について , 第28回土木学会年次学術講演会講演概要集 (1973)
- 66) 橘武 : 社会調査 , 岩波全書 (1958)
- 67) 高野 : 東京市京橋区月島における実地調査報告 第一輯(内務省衛生局) , 復刻版は生活古典叢書第6巻「月島調査」(光生館年)に所収
- 68) 高野 : 東京における二十職工家計調査 , 復刻版は生活古典叢書第7巻「家計調査と生活研究」(光生館1970年)に所収。
- 69) 西田 : 明治前期の都市下層社会 , 生活古典叢書第2巻 , 光生館 (1970)
- 70) 続 : 質問紙調査法 好学社 (1954)
- 71) 竹内 : 住区内の歩行者交通発生量の推計方法について , 土木学会論文報告集 No.214 (1973)
- 72) 吉川・細見 : 都市開発のための生活環境の総合評価法に関する基礎的研究 , 土木学会論文報告集 No.204 (1972)
- 73) 谷 : 住居費支出と家計消費構造 , 住居費配分率とエンゲル係数 , 建築学会論文報告集 , No.176 (1970) , No.181 (1971)
- 74) 広原・金山・飯田・中村・小山 : 市街地における子供の遊び場と自動車交通規制に関する調査研究 , 建築学会論文報告集 No.175 (1970)
- 75) 広原・竹本・松原 : 「だんらん」の研究 , 建築学会論文報告集 No.167 (1970) , No.170 (1970) , No.171 (1970)

- 76) 広原・森本・阿部・岡部： 市街地住宅における日照条件の調査研究，建築学会論文報告集 No.178 (1970)，No.1 No.179 (1971)
- 77) 三瀬： 都市計画における住民意識研究，都市計画 No.72 (1972)
- 78) 三瀬： 都市環境の意識格差と都市比較に関する研究，昭和47年度 学術研究発表会論文集 (1972)
- 79) 三瀬： 開発保全についての意識格差と地域比較に関する研究 — 地域計画における住民意識の基礎的研究 (1973)
- 80) 神戸市環境局： 廃棄物管理計画に関する調査研究，(1973)
- 81) 富山県産業廃棄物処理対策研究会： 産業廃棄物処理対策基本構想研究報告書，(1972)
- 82) Feller： On the integral equation of renewal theory Ann. Math. Stat., 12 (1941)
- 83) 伊藤： 家屋耐用年限理論，住宅研究第6号，住宅研究所，彰国社
- 84) 佐藤： 微分・積分方程式の近似解法，現代応用数学ハンドブック 11，総合図書 (1970)
- 85) 近藤： 積分方程式とその応用，コロナ社 (1961)
- 86) 日高・城塚： 社会の哲学，岩波講座 哲学5 (1971)
- 87) 末石： 都市の代謝からみた廃物の収集・輸送の原理，水処理技術，Vol. 12, No. 8 (1971)
- 88) 一番ヶ瀬・持田： 生活の歴史，講座現代生活研究I，ドメス出版 (1972)
- 89) 遠藤： 生活史ノート，朝倉書店 (1970)
- 90) 森末・寶月・木村・小曲ほか： 生活史 II, III，体系日本史叢書16, 17巻，山川出版社 (1970)
- 91) 内閣統計局： 家計調査報告(自大正15年9月～昭和2年8月)，第2巻，3巻 給料生活者 労働者の部 (1929)
- 92) 総理府統計局： 家計調査年報 (1972)
- 93) 総理府統計局： 家計調査総合報告書(昭和21年～昭和38年) (1965)
- 94) 国民生活研究所： 国民生活統計年報，至誠堂 (1971)
- 95) Barry Commoner： The Closing Circle - Nature, Man, and Technology. Calfred A 邦訳「なにが環境の危機を招いたか」(安部・半谷共訳) 講談社 (1972) Knopf. (1971)
- 96) 日本電機工業会： 昭和40年度市場調査報告書，耐久消費財の需要動向調査 — 主要5品目の耐用年数に関する調査 — (1966)
- 97) 一橋大 宮川研究室： ゴミ問題のシステム分析 (1973)
- 98) 科学技術庁資源調査所： 将来の資源問題，大蔵省印刷局 (1972)
- 99) 通商産業大臣官房調査課： 鉱工業物資需給見通し — 主要物資の47年度需要予測 —，通商産業研究 No.165 (1972)
- 100) 総理府統計局： 毎日統計年鑑，毎日新聞社 (1972)
- 101) 通産省鉱業統計調査室： 本邦鉱業のう勢 (1972)
- 102) 通産省公害保安局・資源化技術協会： 産業廃棄物処理処分状況調査報告書 (1970)
- 103) 鋼材倶楽部： 統計月報 No.109 (1973)
- 104) 清棉事業近代化委員会： 清棉事業の近代化と都市の物質代謝，清棉事業の近代化，大蔵省印刷局 (1972)
- 105) 鋼材倶楽部： 昭和48年1月普通鋼鋼材品種別用途別受注 (1973)
- 106) Wassily Leontief： Input-Output Economics, New York, Oxford Univ. Press (1966)
新飯田 訳 産業連関分析，岩波書店 (1969)
- 107) Wassily Leontief： Environmental Repercussions and the Economic Structure
an Input Output Approach, International Symposium on Environmental Disruption
in the Modern World - A Challenge to Social Scientists (1970)
- 108) 仲川： 鉄鋼業における公害の定量分析，公害研究，Vol.1, No.3 岩波書店 (1972)
- 109) Victor, P.A.： Pollution -- Economy and Environment, G. Allen & Arwin (1972)
- 110) 神戸市市民生活局： 環境管理計画と最近産業構造のあり方 (1972)
- 111) 谷山・片山・横田： 産業連関分析的手法による産業廃棄物排出量の将来予測について，土木学会第1回環境問題シンポジウム (1973)
- 112) 三村： 都市を住みよくできるか，人間・環境・技術シリーズ 3，日刊工業新聞社 (1973)
- 113) 神保： 生産は環境と調和できるか，人間・環境・技術シリーズ 5，日刊工業新聞社 (1973)

- 114) 島津： 国土科学，NHK ブックス，日本放送協会出版部（1974）
- 115) 林ほか： 因子分析，数理学，ダイヤモンド社，4，(1971)
- 116) 運輸省統計調査部： 路線トラック調査報告書 No.7（1967）
- 117) 芝： 行動科学のための相関分析法，東京大学出版会（1967）
- 118) 荒： 産業連関分析数学模型，現代統計学辞典 p.676～680，日刊工業新聞社（1965）
- 119) 神戸市民生活局： 環境管理計画と最適産業構造のあり方（1973）
- 120) 通商産業省エコロジー研究会： 産業政策へのエコロジー研究会——産業エコロジーモデルの開発とその産業政策への適用（1972）
- 121) 科学技術庁資源調査会： これからの都市生活環境，大蔵省印刷局（1970）
- 122) 伊藤： 都市の街路網面積率に関する研究，学位論文（1955）
- 123) 田中： 地域地区制と密度，都市計画 No.73（1972）
- 124) Marion Clawson： A Positive Approach to Open Space Preservation，Jour. of the American Institute of Planners, Vol. XXVIII, No.2
- 125) 文献 95) に引用されている。イリノイ大学のフルース・ハノン博士ほかによって計算された。
- 126) 末石・盛岡： 廃棄物の流動を指標とした環境計画Ⅲ，第27回土木学会年次学術講演会講演概要集（1972）
- 127) 環境庁： 環境白書（昭和47年度版）（1972）
- 128) 大阪府： 環境管理計画（1972）
- 129) T.Sueishi： Environmental Capacity Indicated by Transportation for Metropolitan Planning，International Conference on Automobile Pollution, Toronto, (1972)
- 130) Grigg, D.B.： The Logic of Regional Systems. Annals., A.A.G., Vol.55 (1955)
- 131) 文献 131) にて紹介されている。
- 131) 石水・奥野： 計量地理学，共立出版（1973）
- 132) 高山・上田： 論理学，創文社（1952）
- 133) 村井： Elastic Surface Method 宅地造成設計の最適化，土木学会論文報告集，No.214（1973）
- 134) 川喜田： 発想法（中公新書136），続発想法（中公新書210）（1971）
- 135) 猿谷・山根・川口： ごみ収集の予備的シミュレーションモデル，第8回衛生工学研究討論会講演論文集（1972）
- 136) 京都市清掃局，総務局： ごみ収集作業のシミュレーション（1970）
- 137) 神戸市清掃局・神戸商大システム科学研究グループ： ごみ収集作業のシステム分析（1971）
- 138) 末石： ごみ収集の予備的シミュレーションモデル（討議），第8回衛生工学研究討論会講演論文集（1972）
- 139) 末石・盛岡： 廃棄物の流動を指標とした環境計画Ⅱ，第26回土木学会年次学術講演会講演概要集（1971）
- 140) R.M.Clark and B.L.Grupenhoff： Cost of Residential Solid Waste Collection Jour. of Sanitary Engineering Division Proc. of ASCE Oct., (1971)
- 141) 山内・森口・一松： 電子計算機のための数値計算法Ⅰ，培風館（1965）
- 142) Milton Friedman： A Theory of the Consumption Function，Princeton Univ. Press, (1957)
- 143) 邦訳「消費の経済理論」（宮川・今井共訳）巖松堂出版（1961）
- 143) 五十嵐： 都市内の道路計画，第7回土木計画学シンポジウム（1972）
- 144) 盛岡・久保田： 緑を指標とした環境計画に関する二、三の考察，都市計画 76（1973）
- 145) Lowry, I.S.： A Model of Metropolis Rand Corporation, Santa Monica California (1964)
- 146) Garin, R.A.： A matrix formulation of the Lowry Model for intrametropolitan Activity Allocation Jour. of the American Institute of Planners, Nov., (1966)
- 147) Echenique, M. et al.： Model of a town "Reading" Working Paper 12, LUBFS, Cambridge (1969)
- 148) Jean Perraton： Towards models for urban structure planning Jour. of the Royal Town Planning Institute July/August Vol.58 No.7 (1972)
- 149) 安田(ハ十五)： 都市化社会のシステム分析 都市社会変動の追跡制御装置，社会学講座 第17巻 安田(三郎)稿，P.225 東京大学出版会（1973）
- 150) D.H.Meadows, D.L.Meadows, J.Randers and W.W.Behrens III： The Limits to Growth A Report for THE CLUB OF ROME'S Project on the Predicament of Mankind, Universe Book, New York (1972) 邦訳 成長の限界（大衆訳）ダイヤモンド社（1972）
- 151) Jay W.Forrester： Industrial Dynamics M.I.T.Press (1961)

- 152) 菅原：流出解析法，水文学講座第7巻（1972）
- 153) Michael Batty：An Experimental Model of Urban Dynamics Jour. of the American Institute of Planners, Jan. (1972)
- 154) T.Sueishi：Theory of Environmental Capacity for Regional Management of Water Pollution Control, Discussion Paper No.067, Kyoto Institute of Economic Research Kyoto Univ., (1973)

社会的代謝に関する主要資料

対象品目	資料名	関係部局
鉄鋼	鉄鋼統計年報	(通) 鉄鋼統計調査室
非鉄金属製品	非鉄金属製品統計年報	(通) 鉱業統計調査室
石油	石油統計年報	"
石炭・コークス	石炭・コークス統計年報	(通) 石炭統計調査室
機械	機械統計年報	(通) 機械統計調査室
自動車	運輸統計年報	(通) 統計課
化学工業製品	化学工業統計年報	(通) 化学工業統計調査室
繊維製品	繊維統計年報	(通) 繊維統計調査室
化学工業製品	化学工業統計年報	(通) 化学工業統計調査室
ゴム製品	ゴム製品統計年報	"
プラスチック製品	プラスチック製品統計年報	"
皮革	皮革統計年報	"
木材	木材統計年報	(厚) 林務局企業課
紙	紙統計年報	(通) 化学工業統計調査室
ガラス	ガラス統計年報	(通) 繊維統計調査室
窯業	窯業統計年報	日本電気公社
建築材料	建築統計年報	国統計局長官官房総務課
食品	食料管理統計年報	食糧庁事務局加工食品課
繊維製品	繊維統計年報	(農) 経済局統計調査部農林統計課
化学工業製品	化学工業統計年報	(農) 作物統計課
ゴム製品	ゴム製品統計年報	(農) 食糧庁買入課
プラスチック製品	プラスチック製品統計年報	(農) 農林統計課
皮革	皮革統計年報	(農) 流通統計課
木材	木材統計年報	(農) 農林統計課
紙	紙統計年報	"
ガラス	ガラス統計年報	(農) 蚕糸園芸局商系課
窯業	窯業統計年報	(農) 水産統計課
建築材料	建築統計年報	"
食品	食料管理統計年報	(通) 鉱業統計調査室
繊維製品	繊維統計年報	(蔵) 関税局輸送課
化学工業製品	化学工業統計年報	"
ゴム製品	ゴム製品統計年報	(通) 外航課
プラスチック製品	プラスチック製品統計年報	総理府消費統計課
皮革	皮革統計年報	総庁統計課
木材	木材統計年報	総理府国勢統計課
紙	紙統計年報	(選) 調査統計課
ガラス	ガラス統計年報	
窯業	窯業統計年報	
建築材料	建築統計年報	